

BACCALAURÉAT TECHNOLOGIQUE

Session 2009

PHYSIQUE APPLIQUÉE

Série : Sciences et Technologies Industrielles

Spécialité : Génie Électrotechnique

Durée de l'épreuve : 4 heures

Coefficient : 7

L'emploi de toutes les calculatrices programmables, alphanumériques ou à écran graphique est autorisé à condition que leur fonctionnement soit autonome et qu'il ne soit pas fait usage d'imprimante (circulaire n°99-186 du 16-11-1999).

Dés que ce sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.

Le sujet comporte 9 pages numérotées de 1/9 à 9/9 dont les feuilles annexes pages 6, 7, 8 et 9 sont à rendre avec la copie.

Le sujet est composé de 3 parties pouvant être traitées de façon indépendante.

Il est rappelé aux candidats que la rédaction, la clarté et la précision des raisonnements, entreront pour une part importante dans l'appréciation des copies

A travers ce sujet, on propose d'étudier quelques éléments utilisés dans un scooter électrique.

Problème 1 : MOTEUR A COURANT CONTINU :

Le moteur à courant continu est à excitation séparée et on le suppose parfaitement compensé.

Partie 1 : Essais préliminaires du moteur

Trois essais du moteur à courant continu ont été réalisés en laboratoire.

1- Mesure de résistance d'induit, $R = 20 \text{ m}\Omega$

1-1- Représenter le modèle électrique équivalent de l'induit du moteur (en fléchant les tensions et l'intensité du courant).

1-2- On désire mesurer cette résistance par la méthode voltampèremétrique avec une intensité du courant dans l'induit $I = 60 \text{ A}$.

1-2-1- Compléter le tableau du *document réponse n°1 page 6/9* en entourant la bonne réponse (sans la justifier).

1-2-2- Donner la valeur lue au voltmètre, U_{lue} .

Durant toute la suite du problème l'excitation du moteur restera constante sous les valeurs suivantes : $U_e = 12 \text{ V}$; $I_e = 2 \text{ A}$

2- Essai à vide (à intensité du courant d'excitation constante)

Les mesures de cet essai donnent :

Tension d'induit : $U_0 = 12,6 \text{ V}$.

Intensité du courant d'induit : $I_0 = 3,0 \text{ A}$.

Fréquence de rotation : $n_0 = 550 \text{ tr/min}$.

2-1- Etude de la force électromotrice.

2-1-1- Exprimer puis calculer la force électromotrice à vide, E_0 .

2-1-2- La force électromotrice E_0 peut s'écrire sous la forme $E_0 = k.n_0$ avec n_0 en tr/min. Calculer k en précisant son unité.

2-1-3- Montrer que de manière générale, on peut écrire $E = k.n$ quel que soit le fonctionnement du moteur à intensité du courant d'excitation constante

2-2- Exprimer puis calculer le moment T_p du couple de pertes,

Pour la suite, on supposera le couple de pertes constant et de moment : $T_p = 0,65 \text{ N.m}$

3- Essai en charge:

Les mesures de cet essai donnent :

tension d'induit : $U = 12,6 \text{ V}$;

intensité du courant d'induit : $I = 60 \text{ A}$.

3-1- Calculer la force électromotrice E du moteur.

3-2- Montrer que la fréquence de rotation n de la machine est de 500 tr/min.

3-3- Calculer les pertes par effet Joule, P_j , mises en jeu dans l'induit du moteur.

3-4- Calculer les pertes collectives P_c (ou pertes autres que par effet Joule).

3-5- Calculer la puissance utile P_u du moteur.

3-6- Vérifier que le moment T_u du couple utile vaut 12,4 N.m.

3-7- Calculer le rendement η du moteur.



Partie 2 - Le moteur entraîne à présent le scooter électrique

Le moteur entraîne une charge exerçant un couple résistant de moment T_r . La caractéristique mécanique $T_r(n)$ est représentée sur le *document réponse n°2 page 6/9*.

1- A partir des essais précédents, tracer la caractéristique $T_u(n)$ du moteur (pour $U = 12,6$ V) sur le *document réponse n°2 page 6/9* (On rappelle que cette caractéristique est rectiligne).

2- En déduire au point de fonctionnement de l'ensemble :

2-1- le moment T'_u du couple utile du moteur ;

2-2- le moment T'_r du couple résistant imposé au moteur ;

2-3- la fréquence de rotation n' ;

2-4- la force électromotrice E' ;

2-5- le moment T'_{em} du couple électromagnétique ;

2-6- l'intensité I' du courant dans l'induit.

Problème 2 : LE CONVERTISSEUR ALIMENTANT LE MOTEUR A COURANT CONTINU

La batterie utilisée dans le scooter est équipée de trois monoblocs d'accumulateurs nickel-cadmium délivrant chacun 6,0 V. La résistance interne des monoblocs sera négligée.

La batterie, de tension constante $U_B = 18$ V, ainsi formée alimente le moteur à courant continu par l'intermédiaire d'un hacheur série.

Le circuit est représenté par le schéma sur le *document réponse n°3 page 7/9*.

Les interrupteurs électroniques utilisés sont supposés parfaits. Sur une période T de fonctionnement, l'interrupteur H est fermé de 0 à αT et ouvert le reste de la période (α est appelé rapport cyclique).

1- Analyse des relevés :

Les chronogrammes de la tension u aux bornes du moteur et de l'intensité i du courant traversant son induit (d'inductance élevée) sont représentés sur le *document réponse n°4 page 7/9*.

Ces relevés ont été obtenus à l'écran d'un oscilloscope dont l'une des voies était reliée à une sonde de courant de calibre 10 mV/A.

1-1- Placer, sur le schéma du *document réponse n°3 page 7/9*, le branchement des appareils ayant permis ces relevés et identifier les deux chronogrammes.

1-2- A partir des relevés de la page 7/9, déterminer :

1-2-1- la valeur de la fréquence f_h de commande du hacheur ;

1-2-2- la valeur du rapport cyclique α ;

1-2-3- l'expression puis la valeur moyenne $\langle u \rangle$ de la tension $u(t)$ aux bornes du moteur ;

1-2-4- la valeur moyenne $\langle i \rangle$ de l'intensité i du courant traversant l'induit du moteur.

1-3- Sur le document réponse n°4 page 7/9, représenter, en concordance des temps avec le chronogramme de la tension $u(t)$, les chronogrammes :

1-3-1- de la tension $u_H(t)$ aux bornes de l'interrupteur H ;

1-3-2- de l'intensité $i_B(t)$ du courant débité par la batterie.



1-4- La diode D est appelée diode de roue libre. Quel est son rôle ?

2- Interprétation du fonctionnement :

Pour la suite de cette étude, la résistance de l'induit du moteur est négligée.

Lors de l'étude du problème 1 sur le moteur, on a montré que l'on pouvait écrire $E = k.n$ dans certaine(s) condition(s), avec :

- E : force électromotrice du moteur,
- n : fréquence de rotation en tr/min,
- k : une constante.

2-1- Exprimer la fréquence n de rotation du moteur en fonction des grandeurs U_B , α et k .

2-2- En déduire une méthode permettant d'agir sur la vitesse du scooter.

Problème 3 : LE CHARGEUR DE BATTERIE

Le chargeur de batterie utilisé intègre un transformateur monophasé et un pont tout thyristor.

Partie 1 : Le transformateur monophasé seul : étude en régime sinusoïdal.

1- Essai à vide sous tension primaire nominale

Les résultats de cet essai sont les suivants :

- tension efficace primaire nominale, $U_{1N} = 230 \text{ V}$;
- tension efficace secondaire à vide, $U_{2V} = 27 \text{ V}$;
- intensité efficace du courant au primaire à vide, $I_{1V} = 600 \text{ mA}$;
- puissance primaire à vide, $P_{1V} = 30 \text{ W}$.

1-1- Proposer un schéma de câblage permettant de réaliser les mesures de cet essai. Préciser le mode d'utilisation (AC ou DC) des appareils de mesures quand cela est nécessaire.

1-2- Calculer le rapport m de transformation du transformateur.

1-3- Justifier que P_{1V} , la puissance primaire à vide, correspond, à peu de chose près, aux pertes magnétiques à vide, P_{FV} . On donne la valeur de la résistance de l'enroulement primaire : $r_1 = 1 \Omega$.

2- Essai en court-circuit avec intensité secondaire nominale

Les résultats de cet essai sont les suivants :

- tension efficace réduite au primaire, $U_{1CC} = 25 \text{ V}$;
- intensité efficace du courant au secondaire, $I_{2CC} = I_{2N} = 20 \text{ A}$;
- puissance primaire en court circuit, $P_{1CC} = 40 \text{ W}$.

2-1- Expliquer pourquoi la tension au primaire n'est pas nominale lors de cet essai.

2-2- Justifier que P_{1CC} , la puissance primaire en court-circuit, correspond, à peu de chose près, aux pertes P_{JCC} par effet Joule en court-circuit.

3- Modèle équivalent

- 3-1- Représenter le modèle équivalent du transformateur vu du secondaire.
- 3-2- Déterminer les valeurs numériques des éléments R_s et X_s de ce modèle.

4- Prédétermination du rendement

A partir du modèle équivalent du transformateur, des essais à vide et en court-circuit, on souhaite prédéterminer le rendement du transformateur. On se place dans le cas où il fonctionne sous tension primaire nominale et il alimente une charge inductive de facteur de puissance $\cos \varphi_2 = 0,8$, parcourue par un courant d'intensité efficace $I_2 = I_{2N} = 20 \text{ A}$.

- 4-1- Déterminer la valeur approchée de la chute de tension ΔU_2 au secondaire sachant qu'elle a pour expression :
$$\Delta U_2 \approx R_s \cdot I_{2N} \cdot \cos \varphi_2 + X_s \cdot I_{2N} \cdot \sin \varphi_2.$$
- 4-2- Exprimer puis calculer la puissance active secondaire nominale P_2 .
- 4-3- En justifiant votre réponse, donner les valeurs des pertes magnétiques P_F et des pertes par effet Joule P_J prévisibles pour ce fonctionnement.
- 4-4- Déterminer le rendement η_T du transformateur pour ce fonctionnement et le comparer à la valeur 85 % obtenue lors d'un essai réel.

Partie 2 : Le pont tout thyristor.

Le pont tout thyristor, représenté sur le *document réponse n°5 page 8/9*, est alimenté sous une tension u_2 telle que :

$$u_2 = 24 \sqrt{2} \sin 100\pi t$$

Il alimente la batterie du scooter électrique (dont la résistance interne est négligeable) mise en série avec une bobine de forte inductance et de résistance interne r négligeable.
Cette charge ainsi constituée est parcourue par un courant d'intensité $i_C \approx I_C = 20 \text{ A}$.

La commande des thyristors, supposés parfaits, est conçue pour que :

- Th_1 et Th_3 soient commandés à la date t_0 sur l'intervalle $]0, T[$;
- Th_2 et Th_4 soient commandés à la date $t_0 + \frac{T}{2}$ sur le même intervalle.

Le retard à l'amorçage t_0 est égal à 3,0 ms.

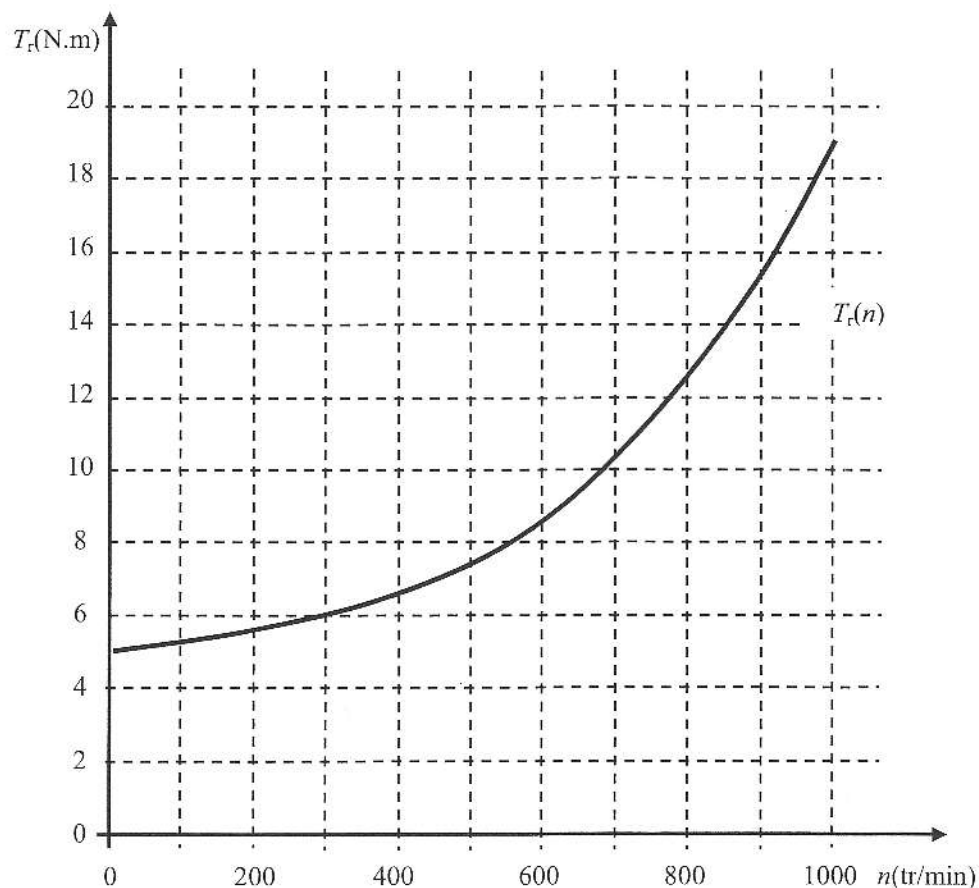
- 1- Préciser le rôle de la bobine.
- 2- Compléter le tableau du *document réponse n°6 page 8/9* :
- en exprimant u_C en fonction de u_2 ;
 - en donnant les valeurs de i_2 et de i_{TH1} suivant les intervalles de conduction.
- 3- Représenter les chronogrammes de u_C , i_2 et i_{TH1} sur le *document réponse n°7 page 9/9*.
- 4- Quelle est la fréquence de la tension u_C ?

Feuille annexe 1 : Moteur à courant continu

Document réponse n°1 :

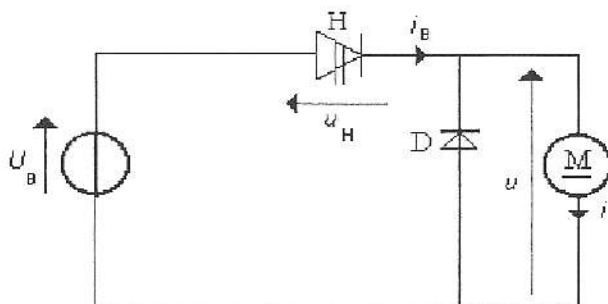
L'essai se réalise avec le circuit d'excitation sous tension	oui	non
L'essai se réalise moteur en rotation	oui	non
Pour cet essai, on utilise une source de tension continue réglable	oui	non
Pour cet essai, on utilise une alimentation sinusoïdale réglable	oui	non
Pour cet essai, on utilise un ohmmètre	oui	non
Pour cet essai, on utilise un voltmètre	en AC	en DC
Pour cet essai, on utilise un ampèremètre	en AC	en DC
Pour cet essai, on utilise un wattmètre	oui	non

Document réponse n°2 :

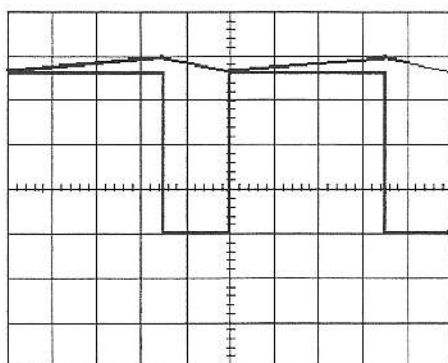


Feuille annexe 2 : Hacheur série :

Document réponse n°3 : schéma du hacheur série

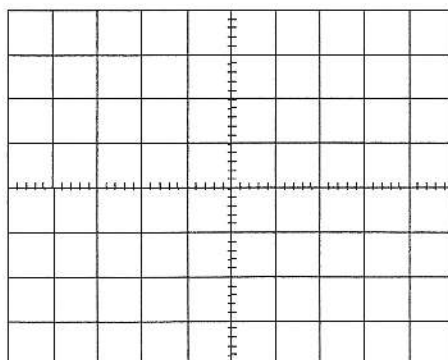


Document réponse n°4:



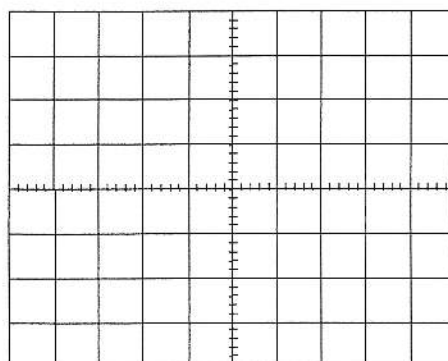
Chronogrammes de u et i
 Calibre voie tension : 5 V/div
 Calibre voie « intensité » : 0,1 V/div
 Base de temps : 10 μ s/div

← référence 0 V pour les 2 voies



Chronogrammes de u et u_H
 Calibre des deux voies : 5 V/div
 Base de temps : 10 μ s/div

← référence 0 V pour les 2 voies

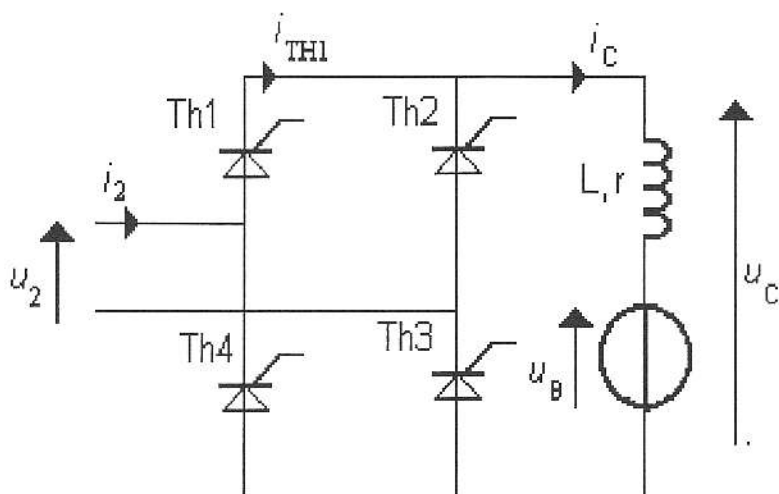


Chronogrammes de u et i_B
 Calibre voie tension : 5 V/div
 Calibre voie « intensité » : 0,1 V/div
 Base de temps : 10 μ s/div

← référence 0 V pour les 2 voies

Feuille annexe 3 : Pont tout thyristors

Document réponse n°5 : schéma du pont tout thyristors :



Document réponse n°6 :

Intervalles de temps	$] 0, t_0 [$	$] t_0, \frac{T}{2} [$	$] \frac{T}{2}, \frac{T}{2} + t_0 [$	$] \frac{T}{2} + t_0, T [$
Thyristors conducteurs	Th ₂ et Th ₄	Th ₁ et Th ₃	Th ₁ et Th ₃	Th ₂ et Th ₄
u_C				
i_2				
i_{TH1}				

DOCUMENT RÉPONSE (A RENDRE AVEC LA COPIE)

Document réponse n°7 :

