

BACCALAURÉAT TECHNOLOGIQUE

SESSION 2010

PHYSIQUE APPLIQUÉE

Série : Sciences et technologies industrielles

Spécialité : Génie Électrotechnique

Durée : 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).

Le sujet comporte 9 pages numérotées de 1 à 9.
La page 9 est un document réponse à rendre avec la copie.

Le sujet comporte 4 parties indépendantes pouvant être traitées séparément.

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

Un constructeur automobile commercialise un véhicule de tourisme à motorisation hybride. Cette motorisation repose sur la combinaison d'un moteur électrique, appelé M et d'un moteur à essence. L'idée d'associer à bord d'un même véhicule, un moteur électrique et un moteur thermique, permet de conserver un excellent niveau des performances dynamiques, tout en diminuant sensiblement la pollution en milieu urbain, grâce à une gestion énergétique optimisée.

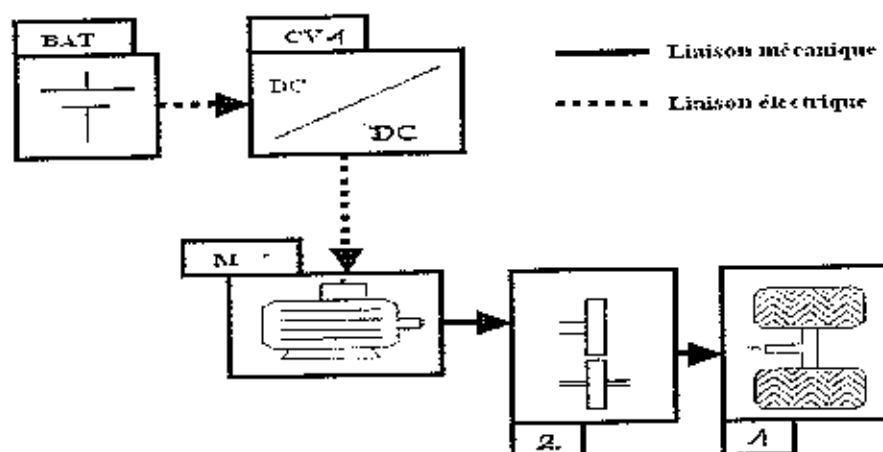
En technologie hybride, un calculateur sélectionne le meilleur mode opératoire en fonction de la situation. Il opte pour la propulsion électrique seule lorsque cela est possible ou pour une répartition entre propulsion électrique et thermique lorsque cela est nécessaire.

Ce sujet porte sur l'étude d'un mode de fonctionnement dont la chaîne de transmission énergétique est donnée figure 1 ci-dessous.

Liste et nom des éléments de la chaîne énergétique

1	Roues motrices.
2	Réducteur.
M	Machine électrique permettant de fournir de l'énergie aux roues
BAT	Batterie d'accumulateurs.
CV1	Convertisseur DC/DC.

Le mode de fonctionnement étudié correspond au démarrage ou à une vitesse lente du véhicule. Dans ce fonctionnement, la batterie BAT fournit toute l'énergie nécessaire au moteur M qui assure seul le déplacement de la voiture.



Les flèches indiquent le sens du transfert de l'énergie.

Figure 1 : Chaîne de transmission énergétique

Partie I- Etude énergétique.

Le mode de fonctionnement étudié permet de dimensionner le moteur **M**.

Cette étude va permettre de déterminer les valeurs nominales du moteur électrique **M** afin de répondre aux exigences de fonctionnement demandées au moteur.

Caractéristiques du véhicule et notations :

R_R	Rayon extérieur en charge des pneumatiques	0,287 m
n_M	Fréquence de rotation du moteur M	en tr.s^{-1}
n_R	Fréquence de rotation des roues	en tr.s^{-1}
k	Rapport de réduction du réducteur $n_R = k \cdot n_M$	0,256
η_r	Rendement du réducteur	0,95

I-1) Relation entre la vitesse V du véhicule et la fréquence de rotation n_M du moteur électrique.

On donne la relation entre la vitesse V et la fréquence de rotation n_R des roues : $V = 2 \cdot \pi \cdot R_R \cdot n_R$.
La vitesse est en mètre par seconde (m.s^{-1}) et n_R est exprimé en tour par seconde (tr.s^{-1}).

I-1-1) Déterminer la relation entre la vitesse V et la fréquence de rotation n_M du moteur.
Montrer que la vitesse V est proportionnelle à n_M . Donner l'expression du coefficient de proportionnalité, noté « a », en fonction de R_R et k .
Montrer que la valeur de ce coefficient est $a = 462 \cdot 10^{-3}$ (SI). Donner l'unité de la constante « a ».

I-1-2) Calculer la valeur de la vitesse V si $n_M = 20 \text{ tr.s}^{-1}$. Exprimer cette vitesse en km.h^{-1} .

I-2) Détermination des grandeurs nominales du moteur électrique **M.**

Pour obtenir une vitesse du véhicule de $V = 9,22 \text{ m.s}^{-1}$, c'est-à-dire une fréquence de rotation n_M de 20 tr.s^{-1} , la force nécessaire au déplacement est de $F = 4960 \text{ N}$.
Ce point de fonctionnement est le point nominal du moteur.

I-2-1) Calculer la puissance P_F nécessaire à l'avancement du véhicule. On rappelle que $P_F = FV$.

I-2-2) Montrer que la puissance nominale utile P_{UN} du moteur est de 48 kW.

I-2-3) Calculer la valeur nominale du moment du couple utile du moteur T_{UN} .

Partie II- Etude du moteur électrique M.

Un convertisseur élévateur de tension (non étudié et non représenté sur le schéma) est intercalé entre la batterie et le moteur, il permet le passage de la tension $U_{BAT} = 207 \text{ V}$ à la tension nominale d'alimentation du moteur.

Le moteur électrique est un moteur à courant continu excitation série de tension nominale $U_N = 500 \text{ V}$.

On donne les valeurs nominales :

Puissance utile $P_{uN} = 48 \text{ kW}$

Moment du couple utile $T_{uN} = 382 \text{ N.m}$

Fréquence de rotation $n_N = 1200 \text{ tr.min}^{-1}$ (pour une vitesse $V = 9,22 \text{ m.s}^{-1}$)

II-1) Etude au point nominal

On donne la valeur :

* du rendement du moteur $\eta_M = 0,80$

* de la résistance de l'induit $R = 0,30 \Omega$

* de la résistance de l'inducteur $R_e = 0,10 \Omega$

La f.e.m E est donnée par la relation suivante : $E = K \Phi \cdot 2 \cdot \pi \cdot n_M$. (K est la constante de la machine et Φ le flux maximal utile sous chaque pôle de la machine en weber).

II-1-1) Calculer la puissance absorbée P_{aK} et l'intensité I_N du courant dans le moteur.

II-1-2) Dessiner le schéma équivalent du moteur en fléchant le courant et les tensions.

Ecrire la loi d'Ohm et calculer la valeur de la f.e.m E_N .

II-1-3) On suppose que le courant d'induit est constant et égal à I_N .

Expliquer pourquoi la valeur du flux Φ est constante. Montrer que la f.e.m E est proportionnelle à la fréquence de rotation n_M . On note « b » la constante de proportionnalité. Calculer sa valeur et donner son unité dans le Système International.

II-2) Détermination de la valeur des pertes collectives P_c .

Cet essai est effectué en réalisant un fonctionnement à vide du moteur en excitation indépendante.

Pour réaliser cet essai on dispose, en nombre suffisant, du matériel de laboratoire suivant :

* Alimentations : DC fixe 30 V - 150A ; AC réglable 0 à 500 V - 150A ; DC réglable 0 à 500 V-150A

* Ampèremètres : AC ou DC calibres 15 A ; 50 A ; 100 A ; 150 A

* Voltmètres : AC ou DC calibres 50 V ; 100 V ; 500 V

Les mesures ont donné les résultats suivants :

* pour l'induit $I_v = 13,8 \text{ A}$, fréquence de rotation $n_v = n_N = 1200 \text{ tr.min}^{-1}$

* pour l'inducteur $I_e = I_N = 120 \text{ A}$.

II-2-1) Le flux Φ a la même valeur dans cet essai et au point nominal (II-1). Justifier cette affirmation.

En déduire la valeur de la f.e.m E_v pour cet essai.

II-2-2) Calculer la valeur des pertes collectives P_c lors de cet essai.

II-2-3) Justifier pourquoi la valeur des pertes collectives P_c en charge nominale est la même que celle obtenue à vide.

II-2-4) Faire le schéma de câblage de cet essai. Choisir les alimentations qui conviennent. Indiquer le calibre et la position (AC ou DC) des appareils de mesure

II-3) Mesure de la résistance d'induit

On utilise le montage de la question II-2 mais l'inducteur n'est pas alimenté.

II-3-1) Est ce que le moteur tourne ? Justifier votre réponse. Quelle est la conséquence sur la valeur de la f.e.m E du moteur ?

II-3-2) Le voltmètre indique une tension de 30 V. Calculer la valeur de l'intensité lue sur l'ampèremètre.

Partie III – Etude de CV1- Convertisseur DC/DC

Pour assurer le démarrage du moteur, de $n = 0$ à $n = n_N = 1200 \text{ tr.min}^{-1}$, le moteur en excitation série est alimenté par le convertisseur CVI.

Le moteur est parcouru par un courant d'intensité moyenne constante $\langle i_M \rangle = I_N = 120 \text{ A}$.

Le montage (figure 2) et les relevés à l'oscilloscope (figure 3) sont donnés ci-dessous.

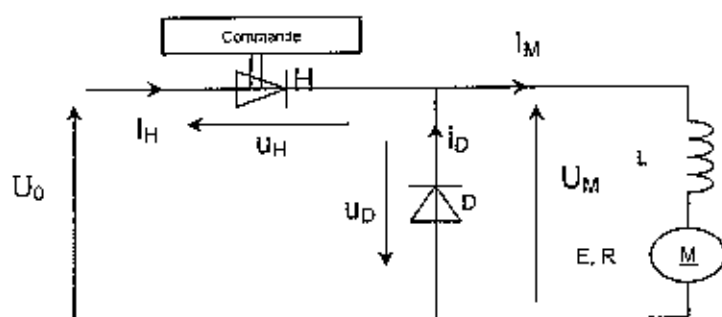


Figure 2 : Alimentation du moteur M

- * La source de tension U_0 est continue et fixe
- * H interrupteur électronique commandé parfait
- * D diode idéale
- * Relevés à l'oscilloscope, sur une période de fonctionnement de la tension $u_m(t)$ et de l'image du courant d'induit $i_M(t)$.

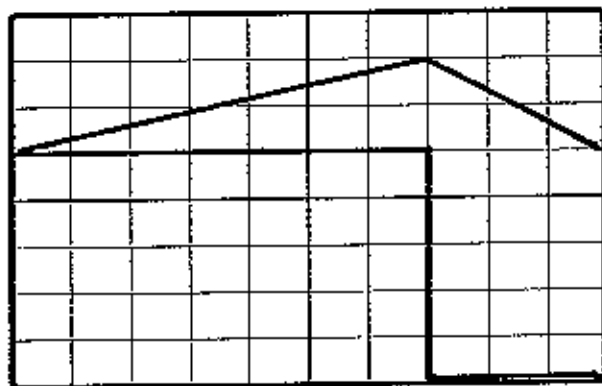


Figure 3 : Oscillogrammes

Base de temps : 0,01 ms / division

Voie A : tension $u_M(t)$ avec sonde de tension 1/100 ; sensibilité 1 V / division

Voie B : image du courant $i_M(t)$ avec une sonde de courant 1V/10A ; sensibilité 2V / division

Le « zéro » de tension est en bas de l'écran pour les 2 voies

III-1) Etude du montage.

III-1-1) Compléter, sur le document réponse page (9/9), le montage donné afin de relever à l'oscilloscope l'image de $i_M(t)$ et la tension $u_M(t)$ en y indiquant le placement des sondes.

III-1-2) On note « α » le rapport cyclique et T la période de fonctionnement du montage. L'interrupteur électronique H est fermé de $[0, \alpha T]$ et ouvert de $[\alpha T, T]$.

Préciser les éléments passants du montage et la valeur prise par la tension $u_M(t)$ sur les intervalles de temps $[0, \alpha T]$ et $[\alpha T, T]$.

III-2) Etude des oscillogrammes (figure 3, page 5)

III-2-1) Calculer la durée de conduction T_H de l'interrupteur électronique commandé, noté H . Calculer la valeur de la période T de fonctionnement du montage. En déduire la valeur du rapport cyclique « α ».

III-2-2) Déterminer la valeur U_b de la tension d'alimentation.

III-2-3) Calculer la valeur moyenne $\langle u_M \rangle$.

III-2-4) Calculer la valeur maximale et la valeur minimale du courant $i_M(t)$.
En déduire la valeur moyenne $\langle i_M \rangle$.

III-3) Evolution du rapport cyclique « α » au cours du démarrage.

On donne les relations:

$$E = 375 \cdot 10^{-3} \cdot n_M \quad (E \text{ fem en Volt et } n_M \text{ fréquence de rotation du moteur en tr.min}^{-1})$$

$$V = 277 \cdot 10^{-3} \cdot n_M \quad (V \text{ vitesse du véhicule en km.h}^{-1} \text{ et } n_M \text{ fréquence de rotation du moteur en tr.min}^{-1})$$

On note $R_t = R + R_e$ et L l'inductance interne totale du moteur.

III-3-1) Ecrire l'expression instantanée de la tension $u_M(t)$ aux bornes du moteur en fonction de E , R_t , L et $i_M(t)$. En déduire l'expression de la valeur moyenne $\langle u_M \rangle$.

III-3-2) Lorsque la vitesse du véhicule est de $V = 20 \text{ km.h}^{-1}$, calculer la valeur de $\langle u_M \rangle$. En déduire la valeur prise par le rapport cyclique α .

Partie IV – Contrôle de l'état de charge de la batterie.

Un des paramètres nécessaires permettant de déterminer à quelques pour-cent près l'état de charge ou de décharge de la batterie est la température.

Une thermistance R_{th} est une résistance dont la valeur dépend de la température θ . Placée à l'intérieur de la batterie, elle permet de mesurer la température.

Les valeurs de la résistance R_{th} en fonction de la température notée θ sont données dans le tableau ci-dessous.

Un montage à amplificateurs linéaires intégrés (AL) supposés parfaits, donné ci-dessous figure 4, permet d'obtenir une tension V_{th} proportionnelle à la température θ .

Le signal V_{th} est ensuite transmis à une unité de contrôle où il sera traité et pour cela il faut les conditions suivantes :

$$V_{th} = 0 \text{ V pour } \theta = -10^\circ\text{C} \quad \text{et} \quad V_{th} = 10 \text{ V pour } \theta = +40^\circ\text{C}$$

On donne la valeur de la résistance R_{th} en fonction de la température θ .

θ en $^\circ\text{C}$	- 10	40
R_{th} en $k\Omega$	12,8	4,4

On donne : $R_1 = 22 \text{ k}\Omega$; $R_2 = 18 \text{ k}\Omega$; $R_3 = 4 \text{ k}\Omega$; $R_4 = R_5 = 22 \text{ k}\Omega$; $R_6 = 69 \text{ k}\Omega$

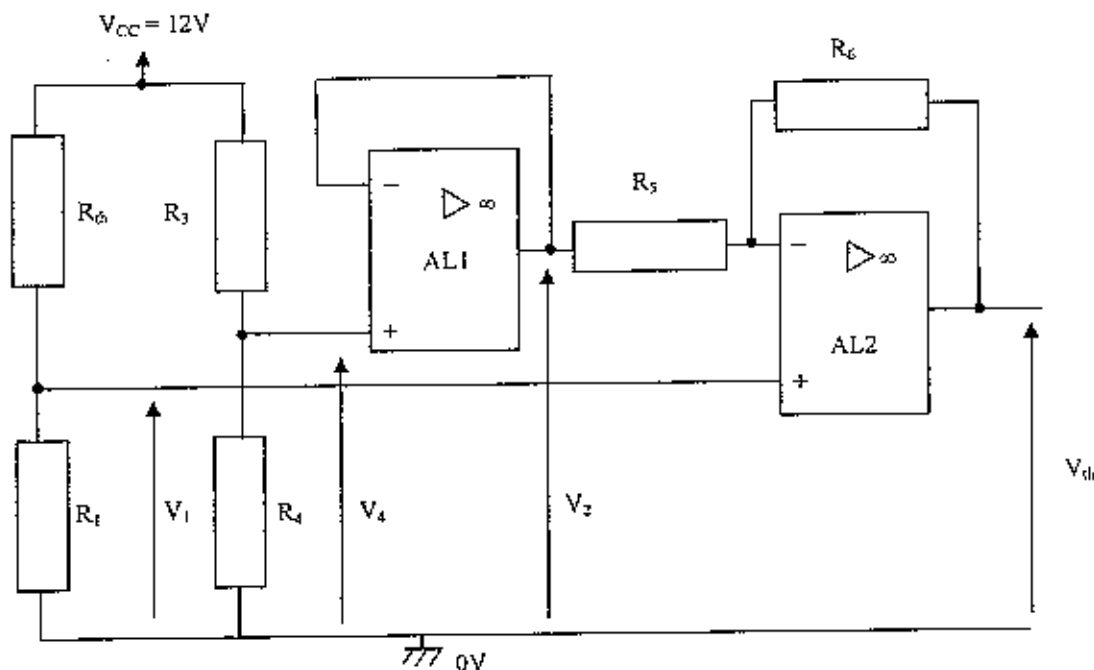


Figure 4- Capteur de température

IV-1) Préciser la valeur des courants d'entrée i^1 et i^2 dans les AL. Préciser le mode de fonctionnement des 2 AL. Justifier votre réponse. En déduire la relation entre les tensions V^1 et V^2 pour les 2 AL.

IV-2) Donner l'expression de la tension V_1 en fonction de la tension V_{cc} et des résistances R_{th} et R_1 . Calculer la valeur de la tension V_1 pour les 2 valeurs de la température.

IV-3) Donner l'expression de la tension V_4 en fonction de la tension V_{cc} et des résistances R_3 et R_4 . Calculer la valeur de la tension V_4 .

IV-4) Donner la relation entre les tensions V_4 et V_2 . Justifier votre réponse.

IV-5) Donner l'expression de la tension V^+ de l'AL2 en fonction de la tension V_1 .

IV-6) Montrer que l'expression de la tension V^- de l'AL2 en fonction des tensions V_2 , V_{th} et des résistances R_5 et R_6 est donnée par la relation suivante :

$$V^- = \frac{1}{(R_5 + R_6)} \cdot (R_5 \cdot V_{th} + R_6 \cdot V_2)$$

Faire l'application numérique et donner la relation entre la tension V^- et la tension V_{th} .

IV-7) Déduire, des deux questions précédentes, l'expression de la tension V_{th} en fonction de la tension V_1 .

IV-8) En utilisant les résultats de la question IV-2), vérifier que les conditions souhaitées sur la tension V_{th} sont bien réalisées pour les deux valeurs de la température θ .

Partie III – Etude de CVI - Convertisseur DC/DC

Question III-1-1

Compléter le schéma suivant afin de relever à l'oscilloscope la tension $u_m(t)$ et l'image du courant d'induit $i_m(t)$ en y indiquant le placement des sondes.

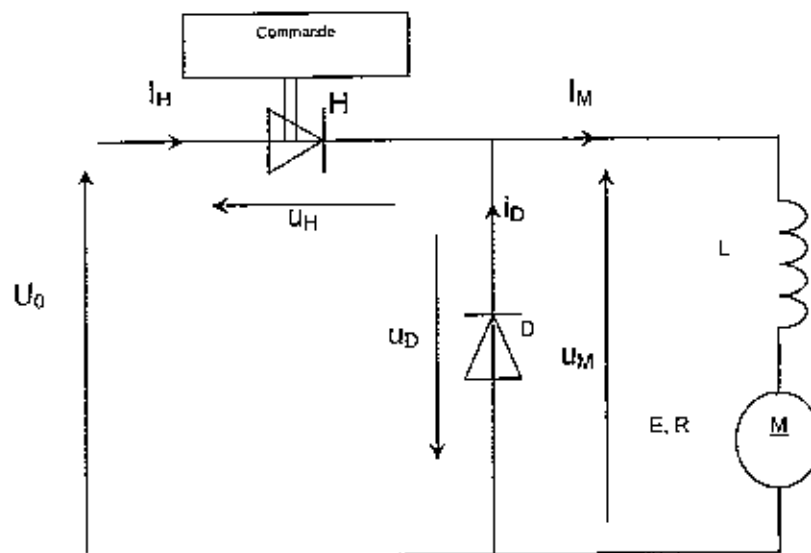


Figure 3