Les calculatrices sont interdites.

***

N.B. : Le candidat attachera la plus grande importance à la clarté, à la précision et à la concision de la rédaction. Si un candidat est amené à repérer ce qui peut lui sembler être une erreur d'énoncé, il le signalera sur sa copie et devra poursuivre sa composition en expliquant les raisons des initiatives qu'il a été amené à prendre.

***

Tous les documents, autres que ceux fournis dans le sujet, sont interdits.
Des feuilles de papier brouillon devront être distribuées avec les documents.
***Attention* : ces feuilles de brouillon ne seront en aucun cas ramassées en fin d'épreuve et, si elles l'étaient, elles ne seraient pas prises en compte par le correcteur.**

DOSSIER REMIS AUX CANDIDATS

- Texte de présentation (14 pages)
- Recueil de 8 Figures (7 pages) - Recueil de 9 Photos (7 pages)

REMARQUES PRELIMINAIRES

1. Il est conseillé d'utiliser des feuilles de papier brouillon afin de mettre au point les développements mathématiques, schémas, graphes et courbes, avant de les recopier au propre sur votre copie.

2. Il est demandé au candidat de bien vouloir inscrire les résultats et les développements nécessaires aux différentes questions sur sa copie, **en précisant bien le numéro de la question traitée et, si possible, dans l'ordre des questions.**

Tournez la page S.V.P.

Extrait gratuit de document, le document original comporte 14 pages.

PRESENTATION DU SYSTEME

Pendant la phase de la mise au point de moteurs de véhicules automobiles, les constructeurs testent les moteurs sur des bancs d'essais reproduisant au mieux les conditions d'utilisation. Le moteur est installé dans une salle spécifique. Il est accouplé à un appareillage permettant de le freiner. Ce freinage reproduit la charge «vue» par le moteur lors de son exploitation future sur le véhicule.

Deux types de technologie sont principalement employés pour freiner le moteur lors de son fonctionnement sur le banc.

a. Technologie à énergie électrique : frein à courant de Foucault,
b. Technologie à énergie hydraulique.

C'est la première technologie (électrique) que nous allons étudier pour la suite du problème.

Le moteur entraîne par l'intermédiaire d'un arbre de transmission, le rotor du frein électrique. Le frein exerce alors un couple de freinage sur l'arbre permettant de représenter le couple résistant que pourra «voir» le moteur lors de son exploitation sur le véhicule.

Description du frein :
Le frein est constitué de 2 éléments principaux :

- le rotor-disque, guidé en rotation à l'aide de roulements à billes R3, R4 et R5 (figure 7),
- de bobines électriques, liées au stator générant un champ magnétique perpendiculaire au disque.

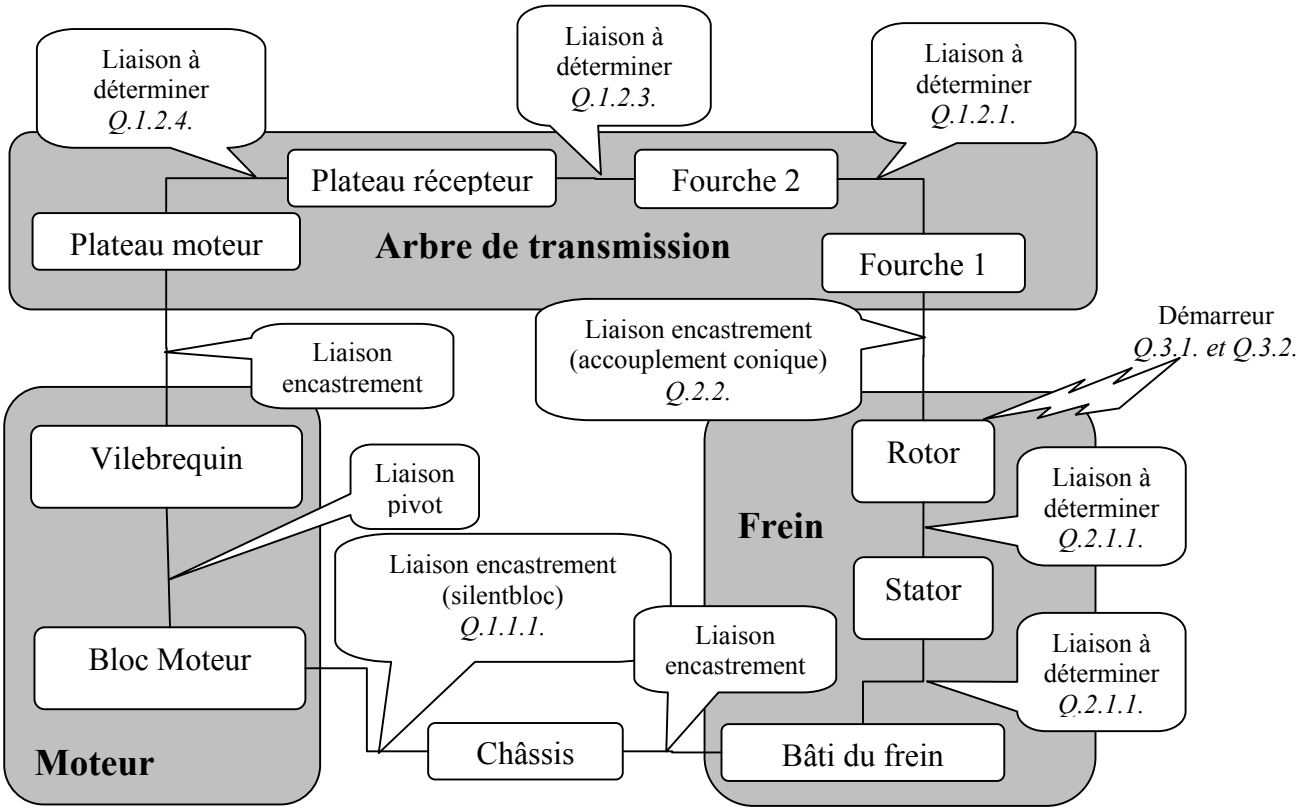
Le disque du frein (figure 7) est entraîné par le moteur par l'intermédiaire de l'arbre de transmission. Les bobines électriques créent un champ magnétique $\vec{B}$ traversant le disque. Celui-ci est donc le siège d'un courant électrique radial (effet courant de Foucault). Ces courants de Foucault se manifestent chaque fois qu'un matériau conducteur est en mouvement au sein d'un champ magnétique : ils sont induits par le déplacement. L'intensité du courant est proportionnelle à la vitesse de déplacement du matériau et à l'amplitude du champ magnétique.

Ces courants, dans le champ magnétique $\vec{B}$, créent un effort mécanique sur le rotor-disque, ce qui donne naissance à un couple résistant.
Il suffit de faire varier le champ magnétique pour faire varier le couple résistant.
Une unité de commande se charge de piloter ce courant. Celle-ci assurera donc le rôle du système de régulation du couple exercé par le frein.

Nota : La circulation de ces courants induits échauffe la matière qu'ils traversent. Cette chaleur est évacuée par de l'eau de refroidissement circulant dans des labyrinthes.

Extrait gratuit de document, le document original comporte 14 pages.

Le graphe des liaisons ci-après permet d'avoir une vision globale du système étudié. Certaines liaisons mécaniques seront à déterminer, d'autres sont données. Chaque « bulle » indique éventuellement le nom de la liaison liant deux éléments, ainsi que le numéro de la question du sujet qui s'y réfère.



L'objectif de l'étude consiste en une vérification des performances de la chaîne fermée {Châssis – Moteur – Arbre de transmission – Frein – Châssis} , ci-dessus.

1 ETUDES MECANIQUES

1.1 Bridage moteur sur le banc

Hypothèse : on suppose que le moteur est désaccouplé au niveau de l'arbre de transmission (liaison vilebrequin / plateau moteur).
La liaison complète du moteur avec le châssis est réalisée sur 3 silentblocs (voir un des silentblocs / photo 2). Chaque silentbloc réalisé en élastomère (donc élastique) filtre les vibrations en permettant 3 rotations. Ils réduisent les bruits et chocs transmis par le moteur au châssis et facilitent son montage.

Tournez la page S.V.P.

Extrait gratuit de document, le document original comporte 14 pages.

1.1.1 Question : silentbloc

Proposer un modèle de liaison pour chaque silentbloc.
Calculer alors le degré d'hyperstatisme de la liaison complète ainsi modélisée.
Tracer le schéma cinématique spatial du modèle (faire apparaître les 3 liaisons).

1.1.2 Question : actions de liaisons

Afin de déterminer les efforts dans les liaisons au niveau des silentblocs (ce qui permettrait de les dimensionner), on propose la modélisation isostatique composée d'une liaison rotule en A, d'une liaison linéaire annulaire en B et d'une liaison ponctuelle en C (figure 1). On suppose que le moteur est soumis à un simple couple résistant constant $\vec{C}_r = C_r\vec{x} = 100\vec{x}$ (Nm) issu du frein, et que le bloc moteur, de centre de gravité G, a une masse $m = 80kg$. On donne les grandeurs géométriques en millimètres suivantes :

$$\overrightarrow{AB} = \ell_{y_B}\vec{y} = -300\vec{y}$$

$$\overrightarrow{AG} = \ell_{x_G}\vec{x} + \ell_{y_G}\vec{y} + \ell_{z_G}\vec{z} = 150\vec{x} - 100\vec{y} + 150\vec{z}$$

$$\overrightarrow{AC} = \ell_{x_C}\vec{x} + \ell_{y_C}\vec{y} + \ell_{z_C}\vec{z} = 600\vec{x} - 150\vec{y} + 350\vec{z}$$

$$\overrightarrow{AO} = \ell_{x_O}\vec{x} + \ell_{y_O}\vec{y} + \ell_{z_O}\vec{z} = 150\vec{x} - 150\vec{y} + 100\vec{z}$$

Écrire l'équilibre du moteur au point A dans la base $\left(\vec{x},\vec{y},\vec{z}\right)$*. Déterminer les actions de liaisons en A, B et C (expressions littérales et numériques).*

1.2 Liaison moteur-frein / arbre de transmission

L'arbre de transmission entre le moteur et le frein (photos 3, 4 et 5) comporte trois liaisons :
- Un accouplement élastique côté moteur – liaison plateau moteur / plateau récepteur,
- Un accouplement par cannelures dans la partie centrale de l'arbre – liaison plateau récepteur / fourche 2 ,
- Un joint de cardan côté frein – liaison fourche 2 / fourche 1.

1.2.1 Question : joint de cardan côté frein

L'arbre de transmission venant du moteur à tester est relié au rotor du frein par un joint de cardan (photo 4). Il est constitué d'une fourche 1, d'un croisillon 3 et d'une fourche 2 (photo 4 et figure 2). D'après le paramétrage cinématique proposé (figure 2) où les orientations des fourches 1 et 2 sont définies respectivement par les bases $\left(\vec{x_1},\vec{y_1},\vec{z_1}\right)$ et $\left(\vec{x_2},\vec{y_2},\vec{z_2}\right)$:

Donner le nom et le torseur cinématique de la liaison fourche 1 / croisillon 3.
Donner le nom et le torseur cinématique de la liaison croisillon 3 / fourche 2.
Donner le nom et le torseur cinématique de la liaison équivalente fourche 1 / fourche 2.

Extrait gratuit de document, le document original comporte 14 pages.

1.2.2 Question : loi d'entrée-sortie

On appelle angle de brisure α , l'angle formé entre l'axe x_1 de la fourche 1 (entrée) et l'axe x_2 de la fourche 2 (sortie) du joint de cardan. En utilisant le paramétrage donné (figure 2) :

Développer la relation $\vec{y}_1.\vec{z}_2 = 0$ *et exprimer* θ_1 *en fonction de* θ_2 *et* α *.*

☞ Définition : on dit qu'une transmission est homocinétique si $\theta_{entrée} = \theta_{sortie}$

Déduire alors si un joint de cardan est une transmission homocinétique dans le cas général.

Donnez la (ou les) condition(s) sur α *pour avoir homocinétisme.*

1.2.3 Question : accouplement par cannelures dans la partie centrale de l'arbre

C'est un assemblage réalisé par cannelures de longueur supérieure à 2 fois le diamètre de l'arbre (photo 4).

Donner alors un modèle de liaison correspondant à cette solution technologique.

1.2.4 Question : accouplement élastique côté moteur

Le vilebrequin du moteur à tester est accouplé à l'arbre de transmission du banc moteur par un accouplement constitué d'une rotule métallique et d'un flasque caoutchouc (voir photo 5 et figure 8).

La rotule métallique assure le guidage des deux axes.

Le flasque caoutchouc est en liaison encastrement avec le plateau-moteur par 3 vis et avec le plateau-récepteur par 3 autres vis.

Le flasque caoutchouc assure la transmission du couple.

Proposer un modèle de liaison correspondant à cette solution technologique en justifiant votre choix.

1.2.5 Question : schématisation

Construire, d'après les réponses aux questions précédentes, le schéma cinématique plan de la transmission moteur / frein.

Expliquer pourquoi ce type de transmission a été choisi.

2 LE FREIN

2.1 Schématisation

Voir le modèle volumique (figure 7) et la vue en coupe (figure 3) dans le recueil de figures.

Le stator est guidé en rotation par rapport au bâti par 2 roulements à billes à contact radial notés R1 et R2. Le rotor est guidé en rotation par rapport au stator par 3 autres roulements notés R3, R4 et R5.

Le capteur d'effort lie le stator au bâti par l'intermédiaire de 2 rotules (photo 7).

Tournez la page S.V.P.

Extrait gratuit de document, le document original comporte 14 pages.