

BACCALAURÉAT TECHNOLOGIQUE

SCIENCES ET TECHNOLOGIES INDUSTRIELLES

« Génie Électronique »

Session 2012

Épreuve : PHYSIQUE APPLIQUÉE

Durée de l'épreuve : 4 heures

Coefficient : 5

Dès que le sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.

Ce sujet comporte 15 pages.

Les documents réponses 1 à 4 sont à rendre avec la copie.

L'usage d'une calculatrice est autorisé.

Il est rappelé aux candidats que la qualité de la rédaction, la clarté et la précision des explications entreront dans l'appréciation des copies. Toute réponse devra être justifiée.

12PYELME1

Etude d'un véhicule électrique

Inventé aux Etats-Unis, le véhicule électrique monoplace à deux roues est aujourd'hui utilisé dans différentes villes de France pour des visites guidées et accompagnées, des déplacements ponctuels ou encore de la surveillance en espace piéton.

Le véhicule est constitué de deux roues parallèles indépendantes ; le basculement du guidon vers l'avant permet de déclencher une phase d'accélération et vers l'arrière, une phase de décélération. A l'arrêt, l'équilibre est obtenu sans que l'utilisateur ne pose le pied à terre.

On étudie les différents éléments entrant dans la constitution de ce véhicule électrique à balancement, schématisé sur **la figure n° 1**, nommé par la suite, « trottinette ».

L'énergie électrique nécessaire à son fonctionnement est fournie par deux batteries de 24 V associées en dérivation.

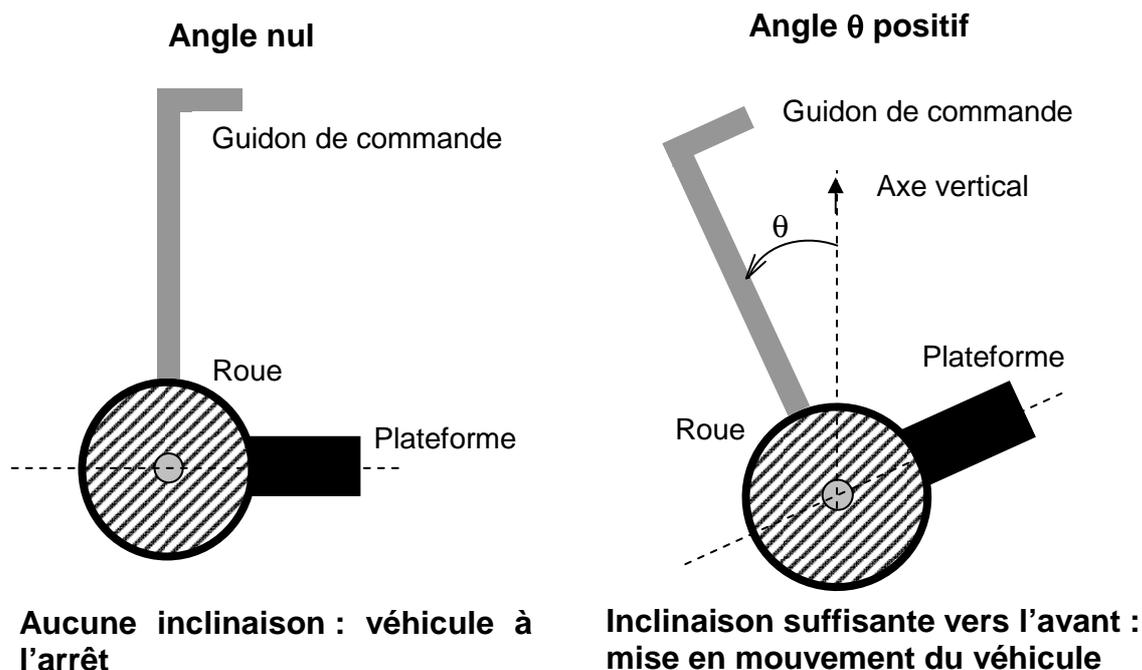


Figure n°1

Le système est décomposé en deux parties qui seront étudiées indépendamment l'une de l'autre.

Partie A

- Etude du capteur d'inclinaison.
- Mise en forme du signal issu du capteur.
- Elaboration de signaux pour la mise en rotation du moteur.

Partie B

- Etude de la commande d'un moteur.
- Etude d'un des deux moteurs, et bilan des puissances.
- Choix des batteries.

L'équilibre de l'ensemble et le changement de direction sont assurés par d'autres éléments non étudiés dans le sujet.

Informations générales :

Tous les composants sont considérés comme parfaits :

Les amplificateurs opérationnels (notés A.O) sont alimentés sous les tensions $+V_{cc} = +15\text{ V}$ et $-V_{cc} = -15\text{ V}$. Ils ont une impédance d'entrée infinie et une impédance de sortie nulle. Leurs tensions de saturation sont égales à $V_{sat-} = -15\text{ V}$ ou à $V_{sat+} = +15\text{ V}$.

Les documents réponses sont à rendre avec la copie.

PARTIE A :
Capteur d'inclinaison et mise en marche de la trottinette.

A1 Mise en forme du signal issu du capteur.

Le capteur d'inclinaison délivre une tension continue v , proportionnelle à l'angle θ formé par l'axe vertical et le tube de maintien du guidon (voir figure n° 1). La caractéristique du capteur est représentée ci-dessous (figure n° 2).

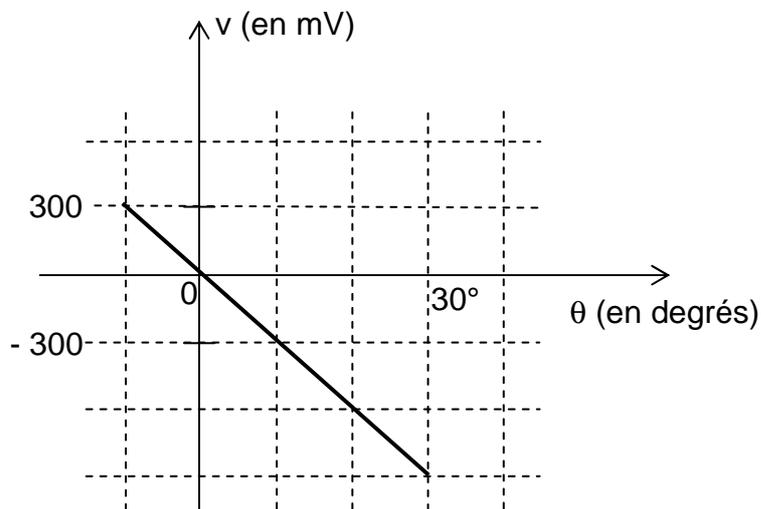


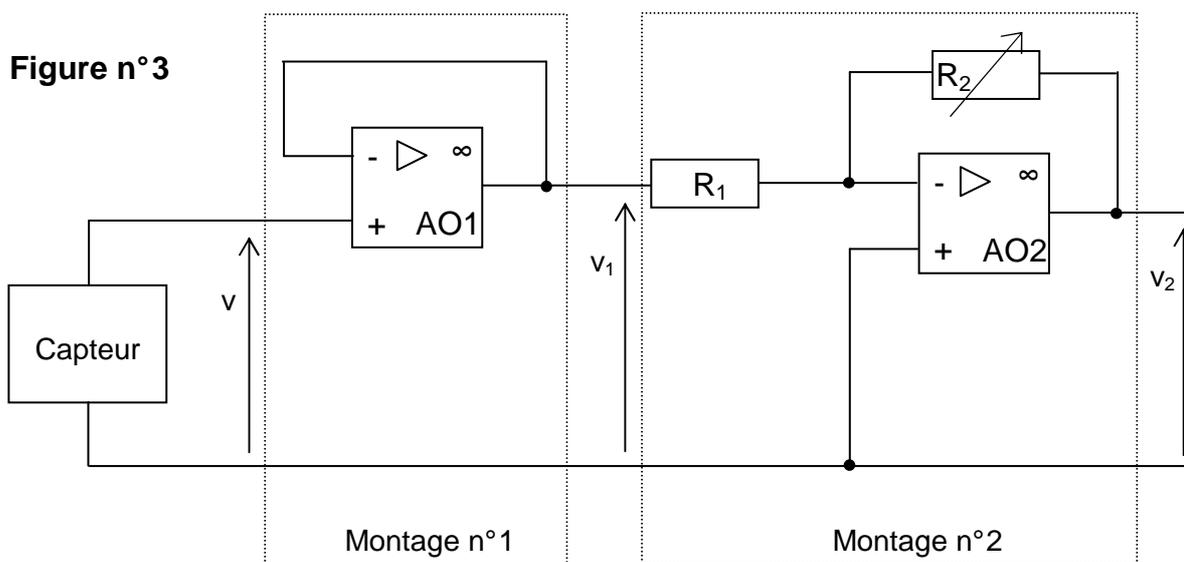
Figure n° 2

Des butées mécaniques limitent les variations de θ entre -10° et $+30^\circ$.

A1.1 Déterminer la valeur maximale notée V_{\max} et la valeur minimale notée V_{\min} de la tension v en sortie du capteur.

Entre les limites imposées par les butées, montrer que la caractéristique du capteur peut s'écrire $v = k.\theta$ avec $k = -0,03 \text{ V} / ^\circ$, avec v en volt et θ en degré.

A1.2 La tension v est appliquée à l'entrée du montage à amplificateurs opérationnels de la figure n° 3.



A1.2.1 Etude du montage n°1 figure n°3

Exprimer v_1 en fonction de v .

Indiquer le nom et le rôle de ce montage.

A1.2.2 Etude du montage n°2 figure n°3

Ce montage fonctionne-t-il en régime linéaire ? Justifier votre réponse.

Montrer que, dans ce régime de fonctionnement, la tension v_2 peut s'exprimer en fonction de la tension v_1 et des résistances R_1 et R_2 de la façon suivante :

$$v_2 = -\frac{R_2}{R_1} \cdot v_1$$

Quelle est alors la fonction réalisée ?

A1.2.3 Etude de l'ensemble

On souhaite obtenir une tension v_2 égale à +1,0 V lorsque l'angle d'inclinaison est de +2 degrés. On donne $R_1 = 3 \text{ k}\Omega$, quelle doit être la valeur de la résistance R_2 ?

A1.2.4 Caractéristique

Tracer, **sur le document réponse n°1 à rendre avec la copie**, l'allure de la courbe donnant la tension v_2 en fonction de l'angle θ , pour $0^\circ \leq \theta \leq +30^\circ$. Vous justifierez votre tracé.

A2 Gestion de la fonction Marche / Arrêt de la trottinette

A2.1 Comparateur (montage n°3)

Il est représenté ci-dessous (**figure n°4**)

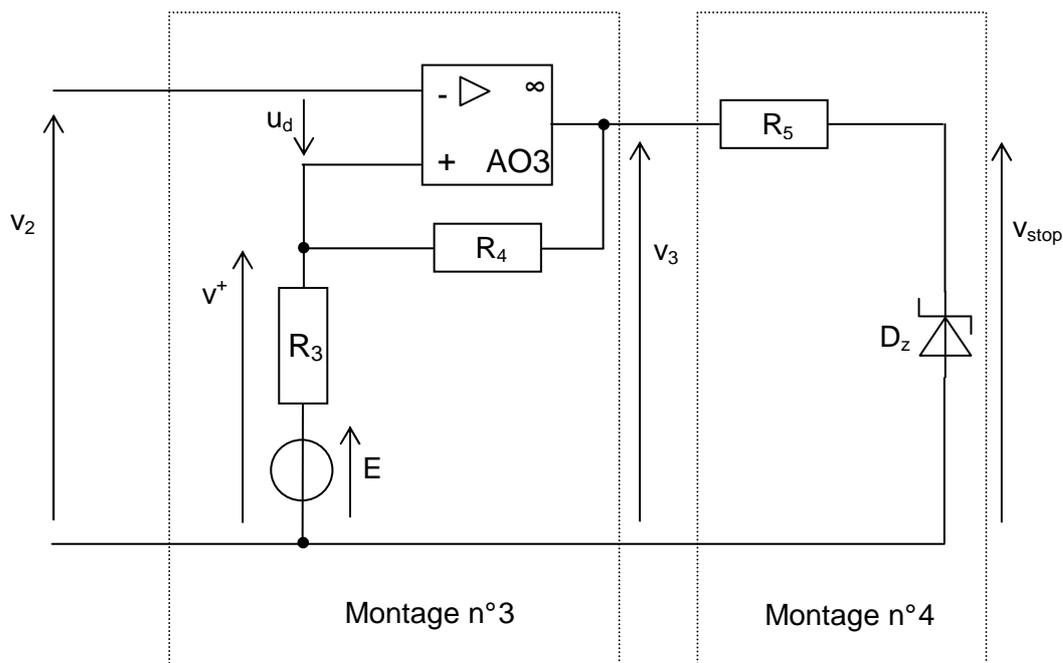


Figure n°4

- A2.1.1** L'amplificateur opérationnel AO3 fonctionne-t-il en régime linéaire ? Justifier la réponse.
Quelles sont les valeurs possibles pour la tension de sortie v_3 ?
- A2.1.2** Exprimer la tension v^+ en fonction de E , v_3 , R_3 et R_4 .
On donne $E = 2,25 \text{ V}$, $R_3 = 1 \text{ k}\Omega$ et $R_4 = 16 \text{ k}\Omega$.
Calculer les valeurs prises par la tension v^+ pour les valeurs possibles de la tension v_3 .
- A2.1.3** Quel nom porte la tension u_d ? Exprimer u_d en fonction des tensions v^+ et v_2 .
- A2.1.4** Dédire des questions précédentes l'expression de u_d en fonction de v_2 , E , v_3 , R_3 et R_4 .
- A2.1.5** Pour $u_d > 0$, écrire l'expression vérifiée par v_2 . Montrer que le seuil de basculement (noté V_{2h}) vaut 3 V .
Pour $u_d < 0$, écrire l'expression vérifiée par v_2 . Montrer que le seuil de basculement (noté V_{2b}) vaut environ $1,24 \text{ V}$.
- A2.1.6** Sachant que les seuils de basculement valent respectivement $1,24 \text{ V}$ et 3 V , tracer sur le **document réponse n° 1 à rendre avec la copie**, l'allure de la caractéristique de transfert $v_3 = f(v_2)$ de ce montage.
En déduire la largeur de plage décrite par la tension v_2 lors d'un cycle ?
- A2.1.7** Quel est le nom de ce montage n°3 ?

A2.2 Adaptation en tension (diode Zener D_z et résistance R_5 , montage n°4)

D_z est une diode Zener de 5 V supposée idéale : tension de seuil nulle dans le sens passant, résistance dynamique nulle, tension inverse dite tension Zéner $U_z = 5 \text{ V}$.

- A2.2.1** D'après le modèle utilisé pour la diode Zéner, donner la valeur de v_{stop} pour $v_3 = 15 \text{ V}$ et pour $v_3 = -15 \text{ V}$.
- A2.2.2** Préciser les valeurs des tensions repérées sur la caractéristique donnant la tension v_{stop} en fonction de la tension v_2 (voir le **document réponse n°1**).

A2.3 Synthèse de la fonction Marche / Arrêt

La tension v_{stop} permet la mise « en marche » et « l'arrêt » de la trottinette.

- Si $v_{\text{stop}} = 5 \text{ V}$, arrêt du véhicule ;
- Si $v_{\text{stop}} = 0 \text{ V}$, mise en marche du véhicule.

A2.3.1 Compléter le tableau **du document réponse n°1**.

A2.3.2 Pour cette application, citer un avantage des comparateurs à deux seuils par rapport aux comparateurs à un seuil.

PARTIE B :
Etude du moteur de sa commande

B1 Etude du signal gérant la variation de vitesse du moteur

L'étude est faite pour un angle d'inclinaison $\theta = 16^\circ$.
Dans ces conditions la tension v_2 correspondante vaut +8 V.

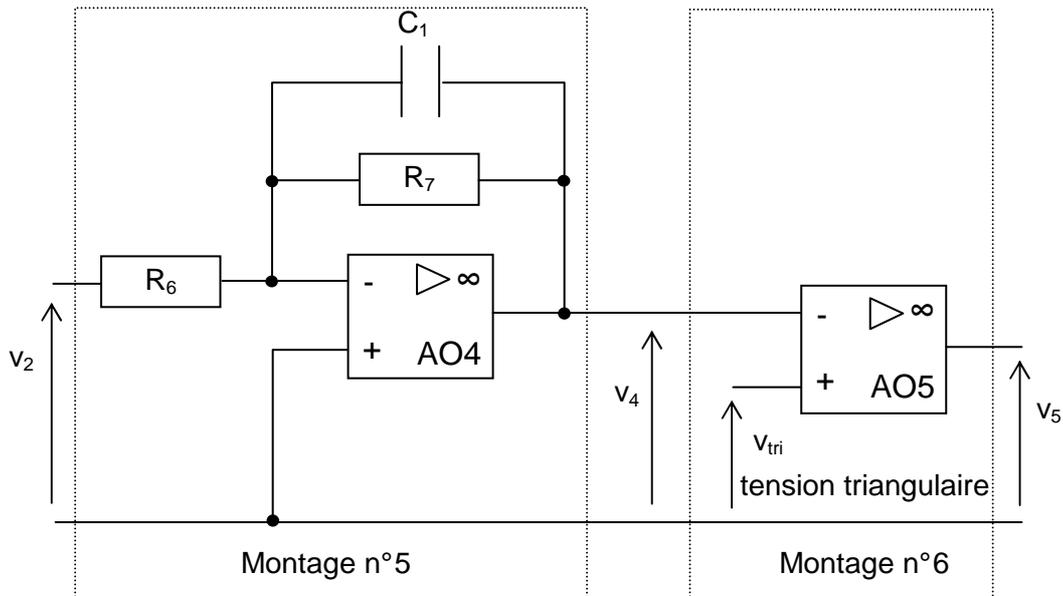


Figure n°5

B1.1 Etude qualitative du montage n°5

L'étude est faite en régime sinusoïdal à la fréquence f . Aux tensions $v_2(t)$ et $v_4(t)$ sont associées les grandeurs complexes \underline{V}_2 et \underline{V}_4 .

On note \underline{T} la fonction de transfert complexe du filtre : $\underline{T} = \frac{\underline{V}_4}{\underline{V}_2}$

B1.1.1 Rappeler l'expression du module Z_C de l'impédance complexe du condensateur C_1 , considéré comme parfait.
Quelles sont les valeurs prises par Z_C lorsque la fréquence f tend vers 0 puis vers l'infini ? En déduire les schémas équivalents du condensateur à ces fréquences limites.

B1.1.2 Déduire de la question précédente la nature du filtre réalisé par le montage n°5.

B1.2 Fonction de transfert du filtre

- B1.2.1** Rappeler l'expression de l'admittance complexe d'un condensateur parfait.
- B1.2.2** Déterminer l'expression de l'admittance complexe $\underline{Y}_{\text{éq}}$ équivalente à l'association de la résistance R_7 et du condensateur C_1 en fonction de R_7 , C_1 et ω .
Exprimer la fonction de transfert complexe \underline{T} en fonction de R_6 et $\underline{Y}_{\text{éq}}$ puis en déduire son expression en fonction de R_6 , R_7 , C_1 et ω .
- B1.2.3** En régime continu, on souhaite que les tensions v_4 et v_2 soient opposées : $v_4 = -v_2$. En déduire une relation entre les résistances R_6 et R_7 .

B1.3 Protocole expérimental

Compléter le schéma du montage du **document réponse n° 2 à rendre avec la copie** en indiquant les appareils à utiliser pour vérifier que l'amplification en tension en régime continu vaut bien **-1**.
Préciser les réglages indispensables à effectuer.

B1.4 Nature du filtre et fréquence de coupure.

- B1.4.1** Montrer que l'expression du module de \underline{T} noté T , peut se mettre sous la forme :

$$T = \frac{R_7 + R_6}{\sqrt{1 + (R_7 C_1 \omega)^2}}$$

- B1.4.2** En déduire les limites de T en très basses fréquences puis en très hautes fréquences. Retrouver la nature du filtre par cette méthode.
- B1.4.3** La fonction de transfert du filtre peut s'écrire :

$$\underline{T} = \frac{T_0}{1 + j \frac{\omega}{\omega_c}}$$

où T_0 est un nombre réel négatif et ω_c la pulsation de coupure.
Déterminer les expressions de T_0 et de ω_c .

- B1.4.4** Sachant que le revêtement routier produit parfois des vibrations dans le guidon, une fréquence de coupure f_c de ce filtre égale à 10 Hz est choisie.
Calculer la valeur de R_7 , si $C_1 = 100$ nF.
- B1.4.5** Si $R_7 = R_6$, que vaut T à la fréquence de coupure ?

B1.5 Synthèse du filtre.

B1.5.1 Sans calcul supplémentaire, déduire des questions précédentes l'allure de la variation de T en fonction de la fréquence. Cette allure est à représenter sur la copie.

B1.5.2 Si v_2 est une tension continue de + 8 V, calculer la tension v_4 .

B1.5.3 Quel est pour le conducteur de la trottinette l'apport de ce montage lorsque le véhicule roule sur une route gravillonnée qui produit des vibrations ?

B1.6 Etude du montage n°6 (figure n°6)

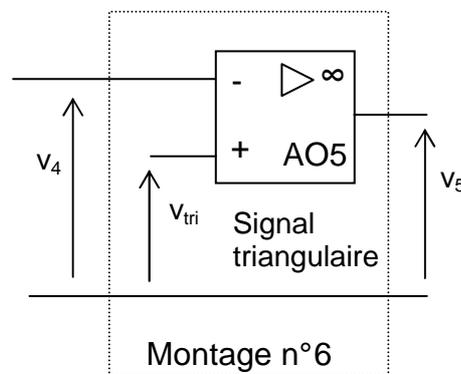


Figure n°6

B1.6.1 L'amplificateur opérationnel AO5 fonctionne-t-il en régime linéaire ?
Quelles sont les valeurs possibles pour la tension de sortie ?

On applique sur l'entrée inverseuse de l'AO5 une tension triangulaire v_{tri} dont les valeurs sont comprises entre 0 V et - 15 V.

On rappelle que :

- pour un angle d'inclinaison θ de 16° , la tension v_2 est constante et égale à + 8 V (tension continue) ;
- la fonction de transfert du filtre en continu vaut -1.

B1.6.2 Compléter, pour un angle $\theta = 16^\circ$ le **document réponse n°2 à rendre avec la copie** en représentant :

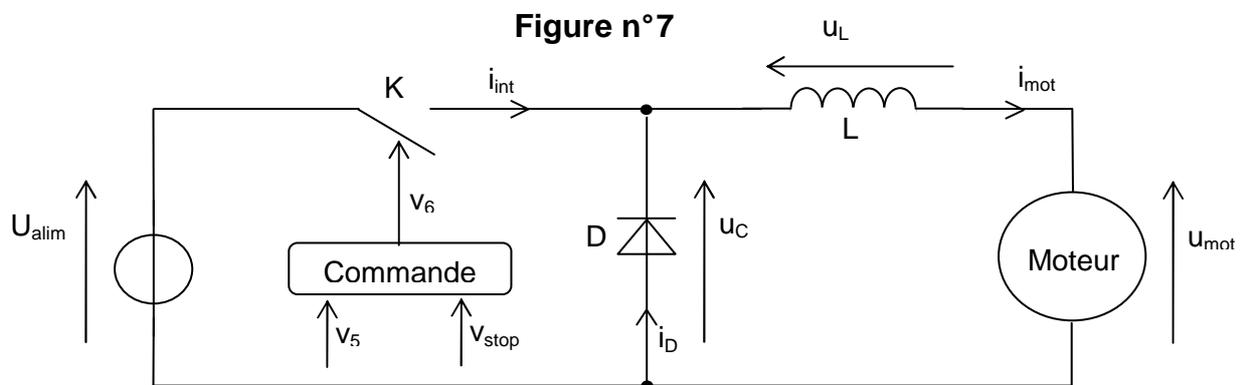
- la tension v_4 en fonction du temps dans le même repère que la tension v_{tri} ;
- la tension v_5 en concordance de temps avec les tensions v_{tri} et v_4 .

B1.6.3 Sachant que $v_4 = -0,5 \theta$ (où v_4 est exprimée en volt et θ en degré), comment évolue le rapport cyclique (noté α) de la tension v_5 lorsque l'angle θ augmente ? En déduire l'influence de θ sur l'allure de v_5 ?

B2 Commande du moteur

Le dispositif utilisé est représenté ci-dessous **figure n°7**. Il comprend :

- une source de tension continue (batteries d'accumulateur) de valeur $U_{alim} = 24 \text{ V}$;
- **un interrupteur unidirectionnel commandé** K supposé parfait ;
- une diode D parfaite ;
- une bobine d'inductance L et de résistance série supposée nulle pour cette étude.



Ce dispositif alimente le moteur à courant continu d'une des deux roues du véhicule

L'interrupteur K est commandé à partir de la tension v_6 de période T, elle-même élaborée à partir des signaux v_{stop} et v_5 .

- α représente le rapport cyclique de la tension de commande.

Pour un temps t compris entre 0 et la période T, on note t_1 l'instant αT : $t_1 = \alpha T$.

- L'interrupteur est fermé lorsque $v_6 = 15 \text{ V}$ soit pour $t \in [0 ; \alpha T]$
- L'interrupteur est ouvert lorsque $v_6 = -15 \text{ V}$ soit pour $t \in [\alpha T ; T]$

Le dispositif de commande de l'interrupteur n'est pas étudié.

B2.1 Préciser le rôle de la bobine d'inductance L ainsi que celui de la diode D.

B2.2 On relève l'allure en fonction du temps de l'intensité i_{mot} du courant circulant dans l'induit du moteur (**voir document réponse n°3**).

B2.2 1 Indiquer sur le **document réponse n°3 à rendre avec la copie** les intervalles de conduction de la diode, puis représenter en concordance de temps :

- la tension u_C aux bornes de l'ensemble {moteur, bobine} ;
- l'intensité du courant i_{int} dans l'interrupteur K ;
- l'intensité du courant i_D dans la diode D.

Justifier les tracés en donnant les schémas équivalents du montage pour les intervalles $[0, t_1]$ puis $[t_1, T]$. On rappelle $t_1 = \alpha T$.

B2.2.2 Pour la configuration représentée sur le **document réponse n°3** :

- déterminer la valeur du rapport cyclique α de la tension u_c ;
- calculer la valeur de la fréquence de hachage f_h ;
- déterminer la valeur maximale $I_{\text{mot MAX}}$ et la valeur minimale $I_{\text{mot MIN}}$ de l'intensité i_{mot} du courant dans l'induit du moteur ;
- en déduire la valeur moyenne de l'intensité du courant dans l'induit.

B2.2.3 Exprimer la valeur moyenne U_{cmoy} de la tension u_c en fonction de U_{alim} , t_1 et T , puis en fonction de U_{alim} et de α .

Calculer alors la valeur numérique de U_{cmoy} .

B2.3 Compléter le schéma du **document réponses n°4 à rendre avec la copie**, en précisant le branchement du (ou des) appareil(s) permettant de mesurer la valeur moyenne U_{cmoy} de la tension u_c . Préciser le(s) réglage(s) indispensable(s).

B2.4 Sachant que la valeur moyenne de la tension aux bornes d'une bobine considérée comme parfaite est nulle, montrer que la valeur U_{cmoy} de la tension u_c est égale à la tension moyenne aux bornes du moteur $U_{\text{mot-moy}}$.

B2.5 On insère dans le montage deux résistances r de valeur $0,1\Omega$ (voir **document réponse n°4**). Proposer, sur le **document réponse n°4 à rendre avec la copie**, les branchements de l'oscilloscope permettant de visualiser simultanément l'image des intensités des courants i_{mot} et i_D .

B2.6 Citer le nom et le rôle de ce convertisseur.

B3 Moteur à courant continu de traction

Le véhicule est entraîné par deux moteurs électriques à courant continu, couplés chacun sur une roue, et dont les caractéristiques sont données ci-dessous.

Induit	Inducteur
Tension d'induit nominale $U = 24 \text{ V}$ Intensité nominale du courant d'induit : $I_N = 90 \text{ A}$ Fréquence nominale de rotation : $n = 1500 \text{ tr/min}$	L'inducteur est constitué d'aimants permanents.

L'étude du moteur est faite dans les conditions nominales de fonctionnement.

Le modèle équivalent de l'induit est représenté à la **figure 8**.

E est la force électromotrice (fém) du moteur et R la résistance d'induit.

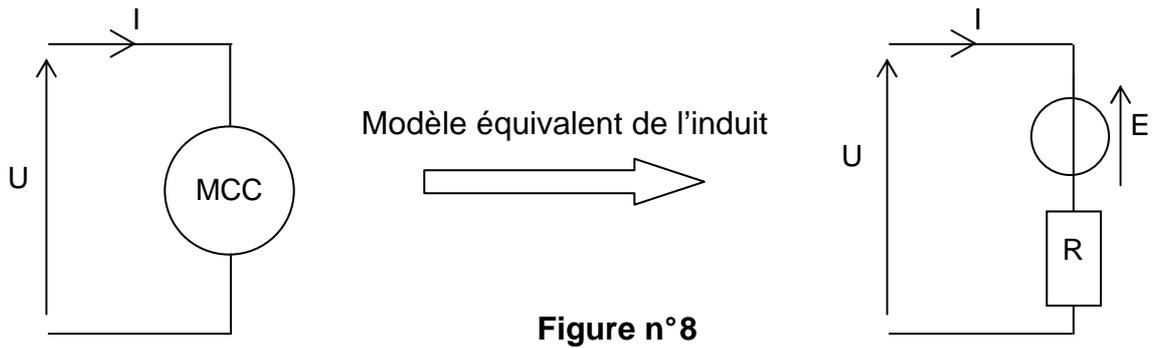


Figure n°8

B3.1 Constitution du moteur

- Quel est le rôle de l'inducteur pour un moteur à courant continu ? Quels sont les éléments qui jouent ce rôle pour ce moteur ?
- Exprimer la tension U en fonction de la fém E , de la résistance R et de l'intensité I du courant dans l'induit.

B3.2 Bilan de puissances du moteur en régime nominal.

On rappelle que pour un moteur à courant continu à excitation indépendante, la force électromotrice E est proportionnelle à la fréquence de rotation n :

$E = k n$ avec $k = 13,3 \cdot 10^{-3} \text{ V/ (tr.min}^{-1}\text{)}$, E exprimée en volt et n en tr.min^{-1} .

B3.2.1 Calculer la force électromotrice E puis vérifier que $R \approx 45 \text{ m}\Omega$.

B3.2.2 Des essais en laboratoire ont montré que le rendement du moteur est de 80%.

Calculer, lors d'un fonctionnement sous conditions nominales :

- la puissance totale P_{abs} absorbée par le moteur ;
- la puissance mécanique utile, P_u ;
- la puissance perdue, P_p .

B4 Choix des batteries

On rappelle que l'énergie électrique nécessaire au fonctionnement du véhicule électrique est fournie par deux batteries de 24 V associées en dérivation.

Le constructeur propose le choix suivant :

	Batterie n°1	Batterie n°2
Capacité de la batterie	18,3 Ah (ampèreheure)	33,3 Ah (ampèreheure)
Durée de vie	300 à 500 cycles	Plus de 1 000 cycles
Temps de charge	5 heures	8 heures
Températures d'utilisation	0 à 50 °C	-10 à 50 °C

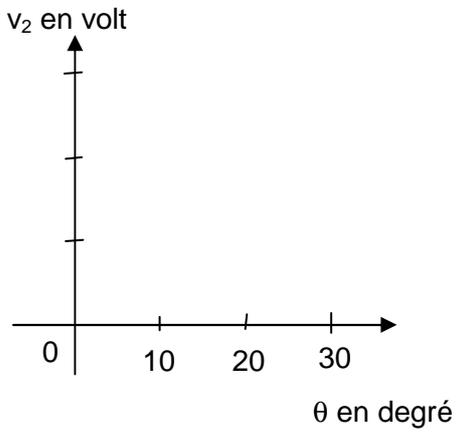
On souhaite pouvoir utiliser ce véhicule durant 1h30 en conduite douce. Dans ce cas le courant moyen débité par l'association des batteries est de 40 A.

Ces deux batteries conviennent-elles ? Justifier votre réponse.

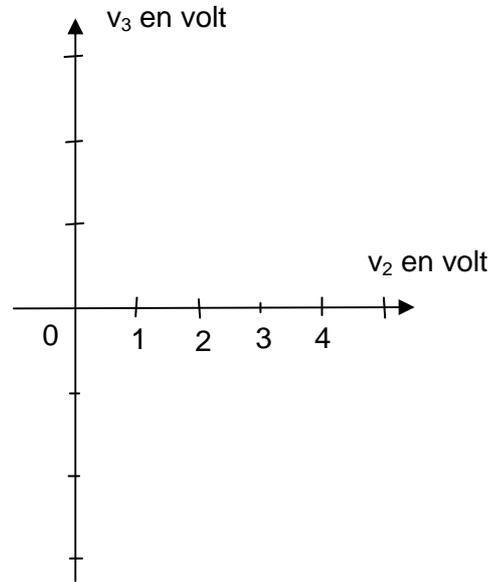
Document réponse N°1 à rendre avec la copie

Partie A

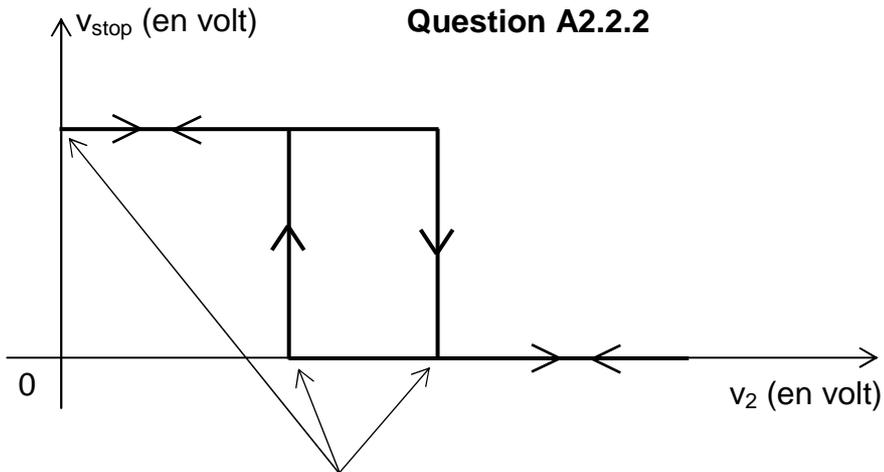
Question A1.2.4



Question A2.1.6



Question A2.2.2



Indiquer les valeurs des tensions

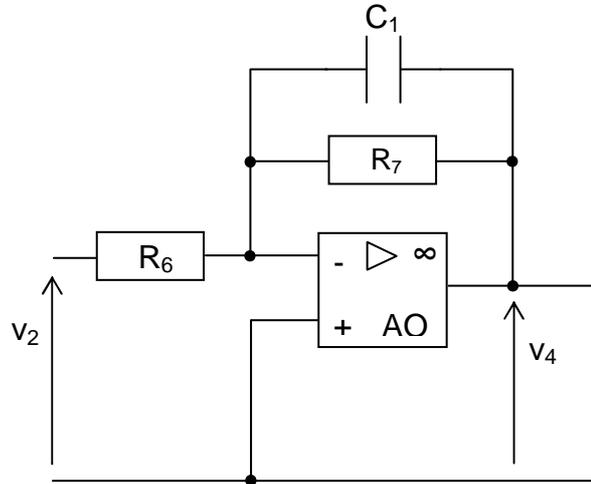
Question A2.3.1

	angle	v en volt	v_2 en volt	v_3 en volt	v_{stop} en volt	Mise en mouvement OUI /NON
Guidon poussé en avant	$\theta = +10^\circ$					
Guidon poussé en avant	$\theta = +2^\circ$					
Guidon relâché	$\theta = +0^\circ$					

Document réponse N°2 à rendre avec la copie

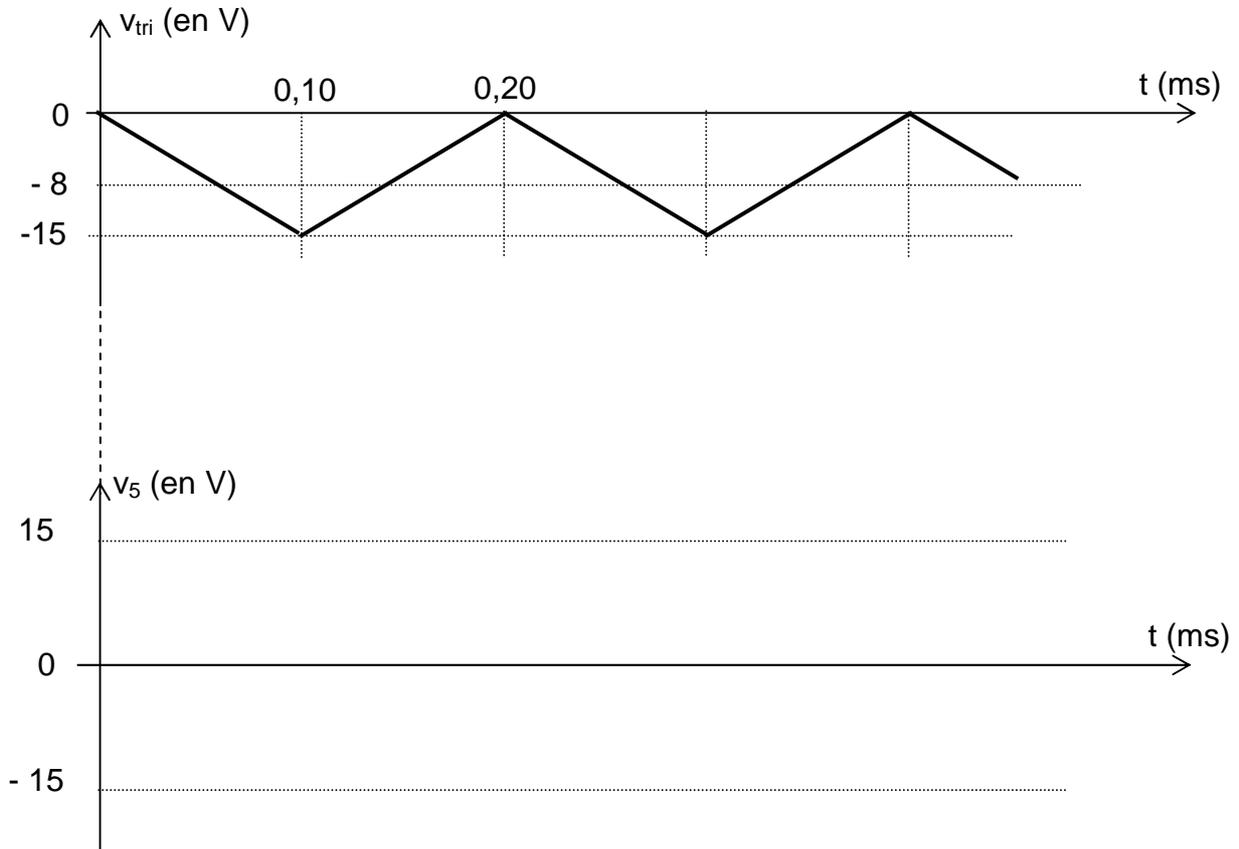
Partie B

Question B1.3



Question B1.6.2

Tracer le chronogramme de la tension v_4 dans le même repère que le chronogramme de la tension v_{tri}

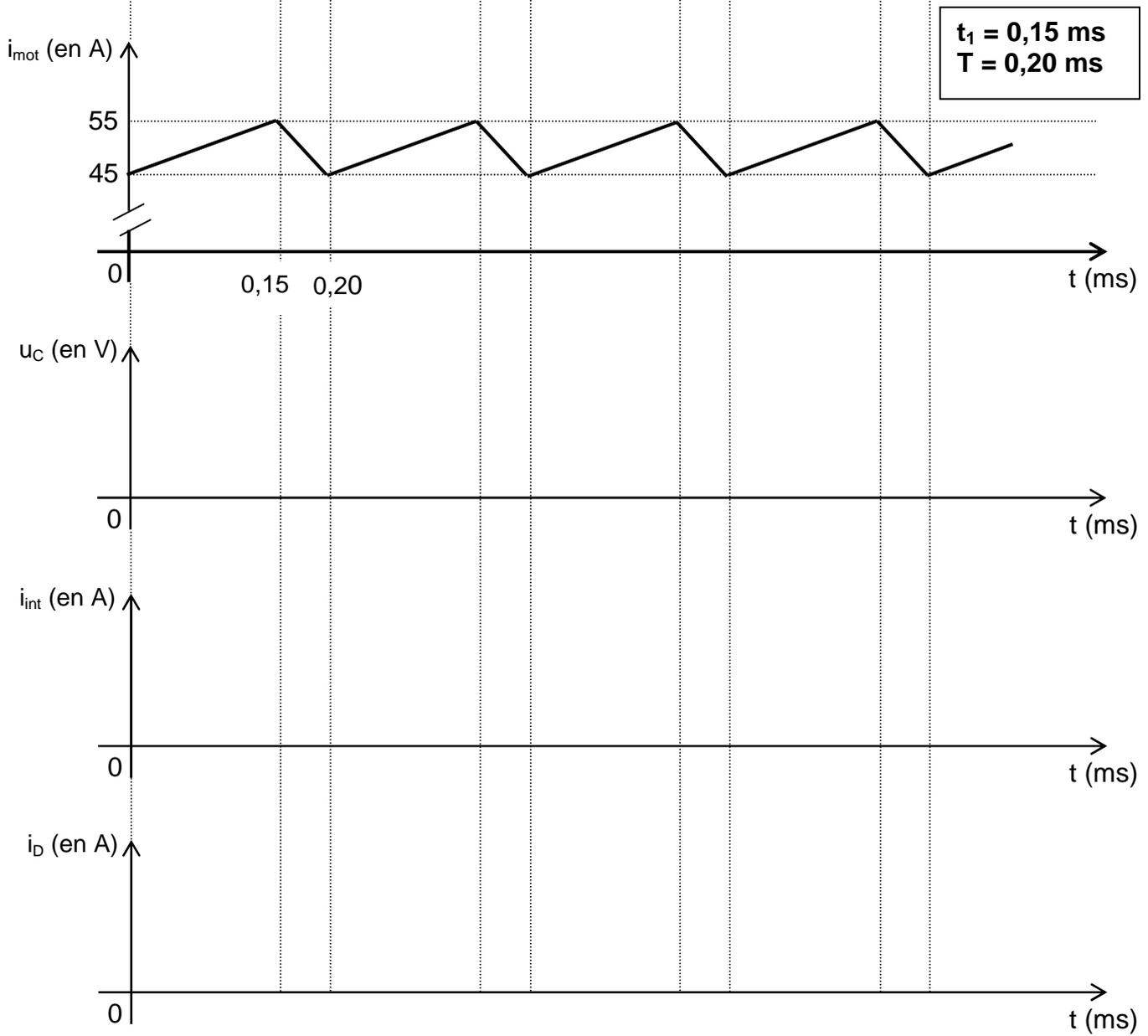


Document réponse N°3 à rendre avec la copie

Partie B

Réponse à la question B2.2.1

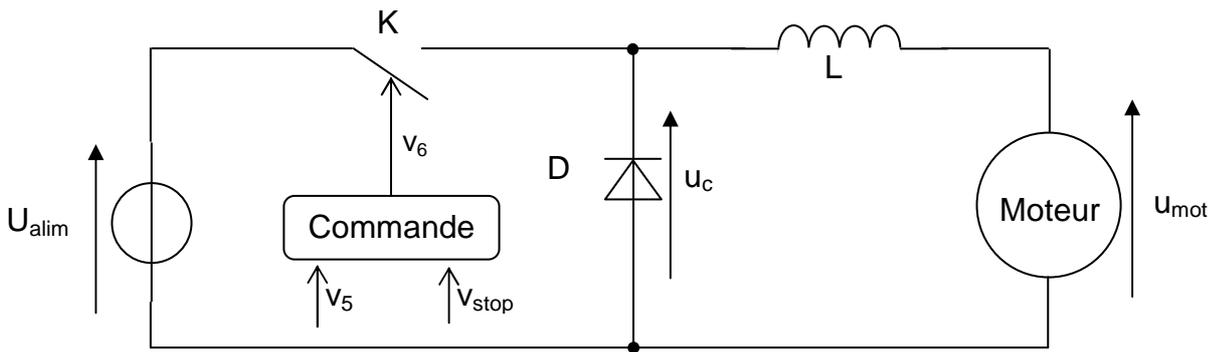
Etat de K	F	O	F	O	F	O	F	O	...
Etat de la diode									



Document réponse N°4 à rendre avec la copie

Partie B

Question B2.3



Question B2.5

