

IMPORTANT : Soigner la présentation de votre copie ! Cela entrera dans la notation.

Une feuille de notes personnelles recto-verso, une calculatrice et un dictionnaire sont autorisés.

0 – CONTEXTE DE L’ETUDE ET DONNEES (TROTTINETTE DE COURSIER)

Cette étude porte sur une trottinette pour un coursier qui livre des petits colis dans une ville. Les dimensionnements ont été effectués pour pouvoir évoluer dans une ville comme Paris, dans laquelle il y a des pentes importantes comme à Montmartre. Les différentes parties de l’examen sont conçues pour être faites dans l’ordre.

1 – ETUDE DE LA MACHINE ELECTRIQUE (50 MIN)

La machine électrique (moteur roue) utilisée est une machine DC brushless **dont le fonctionnement est ramené à celui d’une machine à courant continu pour cette étude**. Quelques-unes de ses caractéristiques sont extraites de la documentation constructeur ci-après. Le moteur roue est fait pour être associé à une batterie en 48 V ou 36 V, le constructeur indique respectivement des vitesses max de 30 km/h et 25 km/h pour ces tensions. Le rayon de la roue est de 0.118 m. La puissance nominale est donnée à 750 W, la résistance équivalente R_{eq} vaut 0.25 Ω et une constante « vitesse/tension » : $kv = 14 \text{ rpm/V}$ est fournie ($\text{rpm} = \text{tr/min}$). Les pertes mécaniques du moteur sont négligées.

1.1 Donner l’équation électrique et les 2 équations électromécaniques d’un moteur à courant continu liant les grandeurs mécaniques et électriques.

1.2 En déduire l’expression de la droite de couple en fonction de la vitesse pour une tension donnée.

1.3 Déterminez, à partir de la documentation du constructeur, la constante de fem (k) dans les unités légales (V/rd/s). Dans le but de tracer les 2 droites de couple aux **tensions $U_{nom} = 48V$ et $36V$** , plusieurs points sont à calculer ci-dessous **pour ces deux tensions**.

1.4 Donner la valeur du couple de démarrage (vitesse nulle) puis la valeur de la vitesse maximale (couple nul).

1.5 Utiliser les résultats de la question précédente pour tracer les droites de couple en fonction de la vitesse (en rad/s). Utiliser une échelle de 1 cm pour 10 N.m et de 2 cm pour 10 rad/s. Celui-ci sera réutilisé pour la suite.

1.6 Donner les vitesses maximales (à couple nul) pour 48 V et 36 V en km/h.

Une vitesse de 22.5 km/h est choisie comme « vitesse de croisière » et l’on désire pouvoir monter des pentes importantes à cette vitesse sur un modèle de trottinette dit « grimpeur » qui sera alimenté en 48 V.

1.7 Utiliser les résultats précédents pour déterminer le couple maximal à cette vitesse et le courant nécessaire. Donner la puissance de ce point de fonctionnement (appelé maximal) ?

1.8 La puissance nominale étant donnée à 750 W, donner le couple nominal à cette vitesse et le courant nécessaire.

1.9 Placer les points de fonctionnement des questions 1.7 et 1.8 sur le graphe fait à la question 1.5.

1.10 Quelle est la tension à utiliser pour le point de fonctionnement nominal de la question 1.8 ?

1.11 Placer les limites de couple (nominal et maximal) du moteur sur le graphe de la question 1.5. Indiquer les zones de régimes permanent et transitoire.

1.12 Donner les valeurs du rendement de la machine au point de puissance maximale (toujours à vitesse de croisière).

2 – ETUDE MECANIQUE ET PERFORMANCES (20 MIN)

On désire connaître le besoin en couple du moteur-roue pour différentes pentes de 0 à 24 % par incrément de 6%.

La masse maximale de la trottinette avec passager et colis est de 120 kg, le coefficient de résistance au roulement est de 0.01, le S.Cx de l’ensemble est de 0.7 m², la densité de l’air est de 1.2 kg/m³.

2.1 Rappeler les expressions des efforts résistants à la « vitesse de croisière » (voir partie 1), en déduire celle de la force d’entraînement puis du couple à la roue.

2.2 Remplir le tableau ci-dessous avec les valeurs numériques obtenues à partir des expressions de la question 2.1. En vous aidant de la partie 1 de cette étude : expliquer comment déterminer si le point de fonctionnement est possible ou non et dans quel régime (permanent/transitoire).

Pente (%)	Vitesse (m/s)	$P \cdot \sin(\alpha)$ (N)	F_{aero} (N)	F_{roul} (N)	F_{roue} (N)	C_{roue} (Nm)	Régime possible

3 – ETUDE DE LA BATTERIE (20 MIN)

Il vous est demandé de dimensionner un pack batterie en respectant le cahier des charges suivant :

Tension nominale	48 V	Puissance nominale (décharge)	150 W
Energie	300 Wh	Puissance maximale (décharge)	2,3 kW

Pour cela, vous devez utiliser les cellules suivantes :

- Li-ion : NMC-graphite
 - Capacité : 2 Ah
 - Masse : 50 g
 - Décharge : 5C (nom.), 8C (max)
 - Tension nominale : 3,6 V
 - Recharge : 5C (max.)

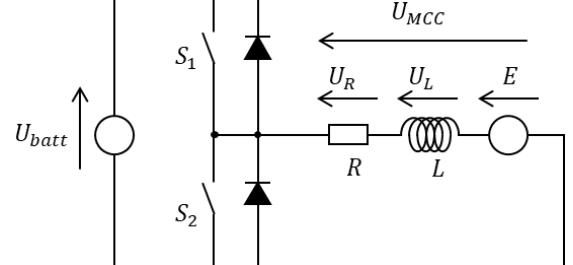
3.1 Préciser le nombre de cellules à mettre en série et en parallèle pour répondre au cahier des charges. Détailler votre démarche.

3.2 Donner les caractéristiques du pack batterie ainsi formé : sa tension nominale, son énergie, ses puissances nominale et maximale en décharge, ainsi que son courant maximale en charge.

3.3 Quelle sera la masse des cellules de ce pack batterie ? Cela vous semble-t-il acceptable ?

4 – ETUDE DU DC/DC (30 MIN)

Le CEP entre la MCC et la batterie est un hacheur, représenté à droite. La batterie est supposée être une source de tension parfaite $U_{batt} = 48\text{ V}$ et la MCC est représentée par sa fem E , son inductance L et sa résistance R . Les interrupteurs S_1 et S_2 sont pilotés de manière opposée et périodique selon une période T . Pendant l'intervalle de temps $t \in [0; \alpha.T]$: S_1 est fermé et S_2 est ouvert. Pendant l'intervalle de temps $t \in [\alpha.T; T]$: S_1 est ouvert et S_2 est fermé.



4.1 Donner les deux problèmes qui sont évités lorsque les interrupteurs S_1 et S_2 sont pilotés de manière opposée ?

4.2 En supposant les diodes et les interrupteurs parfaits, quelles valeurs prend la tension U_{MCC} sur les intervalles $[0; \alpha.T]$ et $[\alpha.T; T]$? Exprimer la moyenne de la tension $\langle U_{MCC} \rangle$ durant une période T complète.

En supposant que le courant dans la MCC est quasiment constant, la tension moyenne de l'inductance $\langle U_L \rangle$ est nulle. On peut alors écrire les moyennes des tensions sur une période : $\langle U_{MCC} \rangle = \langle E + U_R \rangle = \langle E \rangle + \langle U_R \rangle$.

4.3 Pour un rapport cyclique $\alpha = 0,9$ et une vitesse de rotation de $52,8 \text{ rad/s}$, donner les valeurs de $\langle U_{MCC} \rangle$ et de la fem moyenne $\langle E \rangle$.

4.4 En déduire la valeur de $\langle U_R \rangle$ dans ces conditions, puis la valeur du courant dans la MCC. A quel couple cela correspond-il ?

4.5 En suivant la même démarche, donner le courant lorsque la vitesse de rotation est de $52,8 \text{ rad/s}$ et que le rapport cyclique est minimal, $\alpha = 0,05$. Est-ce que ce courant respecte les limites de la batterie (voir question 3.1) ?

4.6 En mode générateur, que faudrait-il ajouter pour dissiper la puissance au lieu de la renvoyer vers la batterie ?