Conception d’une trottinette électrique par adaptation d’un moteur et réalisation d’une transmission sur mesure

Le point de départ de ce TIPE est un moteur électrique dont je disposais déjà et que je souhaite adapter à une trottinette manuelle. Ce moteur n’était pas conçu au départ pour une utilisation sur une trottinette de plus son intégration nécessite de concevoir une transmission pignon-chaîne sur mesure. Je vais modéliser le système, puis réaliser des essais afin d’évaluer si les performances de vitesse et d’autonomie obtenues sont compatibles avec un usage réel.

Professeur encadrant du candidat :

Positionnement thématique (phase 2)

SCIENCES INDUSTRIELLES (Électricité), SCIENCES INDUSTRIELLES (Mécanique et conception), PHYSIQUE (Mécanique).

Mots-clés (phase 2)

Mots-Clés (en français) Mots-Clés (en anglais)

Motorisation électrique Electric motorization

Transmission mécanique Mechanical transmission

Moteur à courant continu DC motor

Autonomie énergétique Driving range

Rendement énergétique Energy efficiency

Bibliographie commentée

La motorisation d’une trottinette électrique repose sur la conversion de l’énergie électrique stockée dans la batterie en énergie mécanique permettant d’entraîner la roue. Le Department of Energy américain présente le moteur électrique comme l’élément qui permet cette conversion. Il est composé de plusieurs parties notamment du rotor qui est la partie mobile et le stator qui est la partie fixe [1]. Dans mon système, l’étude du moteur est le premier élément essentiel pour relier les grandeurs électriques telles que la tension et le courant aux performances mécaniques obtenues.

Le fonctionnement du moteur doit également être vu avec son alimentation. L’électronique de puissance permet de contrôler l’énergie transmise au moteur et donc d’agir sur sa vitesse [2] [7]. Dans mon étude, ces éléments devront être pris en compte pour relier les réglages de la commande aux performances mesurées.

La puissance mécanique doit ensuite être transmise à la roue. Dans mon prototype, cette fonction est assurée par une transmission pignon-chaîne réalisée sur mesure. Le choix des dimensions des pignons à un impact sur le rapport de transmission et donc cela modifie directement la relation entre la vitesse de rotation du moteur et celle de la roue. Cela a donc un impact sur les performances finales de la trottinette en termes de vitesse et de capacité à franchir des difficultés comme des pentes ou une charge lourde.

Il est aussi important de nommer ce que l'on appelle une trottinette réellement utilisable. La réglementation française fournit une liste de critères. La Sécurité routière indique qu'un engin de déplacement personnel motorisé doit être limité à 25 km/h par construction ou par bridage [3]. L'Observatoire national interministériel de la sécurité routière rappelle également cette limitation à 25 km/h pour les trottinettes électriques [4]. Cette valeur constitue donc une référence pour comparer la vitesse obtenue expérimentalement avec mon prototype.

Il n'y a pas que la vitesse maximale qui constitue un critère, l'autonomie est une autre caractéristique déterminante. L'énergie disponible est limitée par la capacité de la batterie et la consommation dépend des conditions de fonctionnement de la trottinette. Il faudra donc étudier ensemble la vitesse obtenue, le courant consommé et l'énergie disponible afin d'estimer l'autonomie du prototype [8].

Ces recherches permettront d'évaluer si la motorisation dont je disposais peut être adaptée à une trottinette. L'objectif est de déterminer expérimentalement si l'association du moteur, de la batterie, du système de commande et de la transmission conçue sur mesure permet d'obtenir une vitesse et une autonomie compatibles avec un usage réel.

Problématique retenue

Comment adapter une motorisation électrique disponible, au moyen d'une transmission conçue sur mesure, pour obtenir une trottinette aux performances compatibles avec un usage réel ?

Objectifs du TIPE du candidat

Je souhaite caractériser expérimentalement le moteur et la chaîne de transmission, puis établir un lien entre les grandeurs électriques et les performances mécaniques de la trottinette. À partir d'un modèle, je prévoirai notamment la vitesse et la consommation, puis je comparerai ces résultats aux mesures réalisées sur le prototype. L'analyse des écarts permettra d'évaluer la capacité du modèle à représenter de manière réelle le système et de déterminer si les performances obtenues sont compatibles avec un usage réel.

Références bibliographiques (phase 2)

[1] U.S. Department of Energy, Electric Motors Research and Development. U.S. Department of Energy – Electric Motors

[2] U.S. Department of Energy, Power Electronics Research and Development. U.S. Department of Energy – Power Electronics

[3] Sécurité routière, Bien circuler à trottinette électrique. Sécurité routière – Guide EDPM

[4] Observatoire national interministériel de la sécurité routière (ONISR), Code de la route – règles selon le mode de déplacement. ONISR – Code de la route et trottinettes électriques

[5] Observatoire national interministériel de la sécurité routière (ONISR), Quelles règles pour les Engins de Déplacement Personnel ? ONISR – Engins de déplacement personnel

[6] Sécurité routière, Bien circuler à trottinette. Sécurité routière – Bien circuler à trottinette

[7] Brushed DC Motor Theory — Northwestern University

[8] INRS — Utilisation de batteries au lithium

[9] MIT OpenCourseWare — Electrochemical Energy Systems

Protocole expérimental

L'étude reposera sur la comparaison entre les performances prévues par un modèle numérique et celles mesurées sur le prototype. Cette démarche permettra de voir si la motorisation disponible associée à une transmission peut convenir à une trottinette destinée à un usage réel.

Dans un premier temps, le système sera modélisé et simulé à partir des caractéristiques du moteur, de la batterie, de la transmission et de la trottinette. La simulation permettra de prévoir les principales performances du prototype notamment sa vitesse et sa consommation afin estimer l'autonomie. Si le temps le permet les effets de la masse transportée ou de la vitesse demandée seront également étudiés.

Dans un second temps, des essais expérimentaux seront réalisés sur le prototype. Les grandeurs étudiées en simulation seront mesurées afin de pouvoir comparer les résultats. Les essais permettront de déterminer la vitesse atteinte, d'étudier le comportement de la trottinette pour différentes charges et d'évaluer sa consommation énergétique afin d'en déduire son autonomie.

Les résultats expérimentaux seront ensuite comparés aux résultats de la simulation. Pour chaque grandeur étudiée, l'écart entre la valeur prévue et la valeur mesurée sera déterminé.

Enfin, les écarts seront analysés et on en déduira les causes. Ils pourront notamment provenir de phénomènes négligés dans la modélisation comme les pertes dans le moteur et le contrôleur, les frottements mécaniques, le rendement de la transmission par chaîne ou la résistance au roulement. L'influence de ces phénomènes permettra de préciser les limites de la simulation.