

Le travail de Bureau d'Études (BE) doit être considéré comme une étude réalisée dans un cabinet d'ingénierie pour répondre à une demande industrielle. Le client fixe le cahier des charges que vous serez chargé de réaliser en un temps limité.

L'intervenant ne sera là que pour répondre à vos questions et faire avancer votre propre projet. Sachez le solliciter. Un rapport final (10 pages max) sera rendu en fin de BE en vue d'être transmis au client.

Cahier des charges

L'étude concerne un kart électrique (Fig. 1) dont les caractéristiques sont données ci-dessous. On souhaite concevoir – par simulation sous le logiciel MATLAB-Simulink™ – la commande de la chaîne de traction électromécanique. Cette pré-étude doit permettre au client de déterminer si les performances du véhicule choisi sont adaptées à ses exigences. Pour cela, le système et sa commande seront testés par simulation selon un cycle normalisé (cycle ECE de la Fig. 2). L'étude devra, à terme, permettre de :

- **simuler le véhicule électrique et sa dynamique ;**
- **adapter aisément l'algorithme de commande ;**
- **estimer les contraintes électriques sur les composants.**



Fig. 1 : Le kart électrique TRITON (Kart Master)

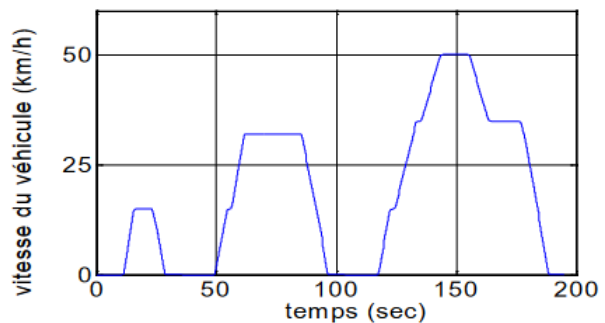


Fig. 2 : Trajectoire d'essai (cycle ECE)

Étapes de travail

Ce mini projet va être réalisé sur plusieurs séances. Les différentes étapes de travail sont :

- modélisation du système ;
- analyse du système ;
- commande pas à pas du système ;
- analyse des performances ;

Vous aurez à votre disposition :

- le schéma structurel du système étudié (ci-dessous);
- les paramètres associés (ci-dessous);
- les données du cycle de vitesse (ECE) ;
- La librairie des éléments de la REM.

Description du système

Le système étudié est composé d'une motorisation réalisée par une machine synchrone de type Brushless de 4,8 kW. Afin de simplifier cette pré-étude la machine synchrone sera remplacée par une machine à courant continu à aimants permanents de performances équivalentes. Celle-ci sera alimentée par une batterie au Plomb (Lead acid battery) via un convertisseur DC/DC et entrainera l'essieu arrière du kart via une transmission mécanique (Fig. 3).

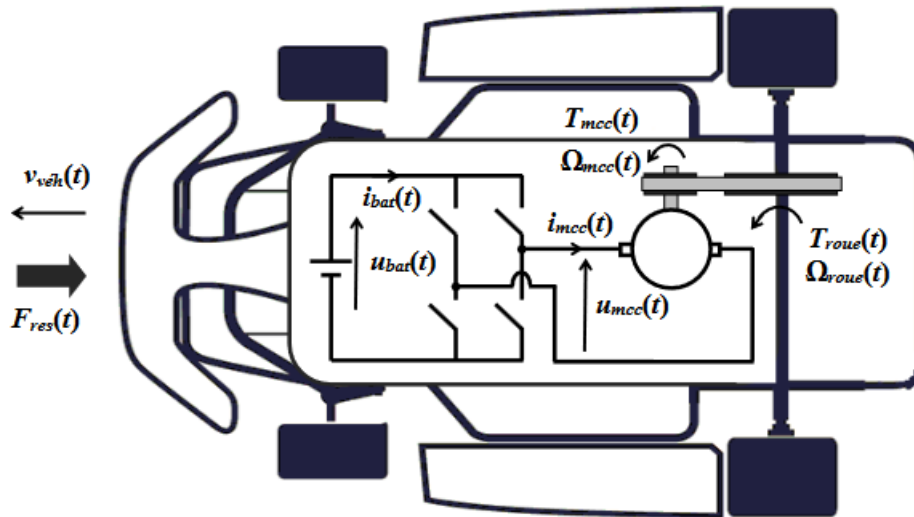


Fig. 3 : Structure électrique et mécanique du kart étudié

Paramètres

Batterie – le choix technologique de la batterie s'est porté sur l'utilisation d'éléments Plomb (Lead acid battery) OPTIMA® YellowTop R 3,7 ayant les caractéristiques suivantes :

- capacité de stockage : 48 Ah ;
- tension nominale d'une cellule (OCV) : 2,0 V ;
- tension minimale d'une cellule (OCV) : 1,75 V ;
- tension maximale d'une cellule (OCV) : 2,18 V ;
- courant max d'une cellule : 810 A ;
- résistance interne d'une cellule : 0,53 mΩ ;
- masse d'une cellule : 2,77 kg ;
- volume d'une cellule : 1,34 dm³ ;
- nombre de cellules mises en série pour former un module : 6 ;
- nombre de modules mis en série pour former la batterie : 4.

Convertisseur – le convertisseur d'électronique de puissance considéré est le SEVCON Millipak 4Q 24V -48V 300A standard ayant les caractéristiques suivantes :

- rendement moyen : 95 % ;
- fréquence de découpage : 16 kHz ;
- masse : 2,9 kg ;
- volume : 1,85 dm³ ;
- tension d'alimentation (batterie) : 24 – 48 V ;
- courant max : 300 A.

Sa modélisation pourra se faire au sens des valeurs moyennes.

Machine à courant continu – la machine à courant continu ME0909 (Brush-Type) est à aimants permanents avec les caractéristiques suivantes :

- tension nominale : 48 V ;
- courant nominal : 100 A ;
- courant max (60s) : 300 A ;
- puissance électrique nominale : $4,8\text{ kW}$;
- puissance électrique max (60s) : $14,4\text{ kW}$;
- vitesse alimentée sous 36 V à vide : 3200 tr/min ;
- vitesse nominale : 4000 tr/min
- masse : $10,9\text{ kg}$;
- volume : $4,9\text{ dm}^3$;

On supposera que les inerties des arbres mécaniques en rotation sont négligeables devant la masse du kart.

Transmission mécanique – la transmission mécanique se décompose en un ensemble poulie-courroie (réducteur) et en une roue avec pour paramètres les valeurs ci-dessous :

- nombre de dents de la poulie moteur : 22 ;
- nombre de dents de la poulie roue : 75 ;
- diamètre de la roue : $279,4\text{ mm}$;
- rendement estimé de la transmission mécanique : 92% .

Le réducteur vise à adapter la vitesse de rotation de la machine électrique aux vitesses de rotation des roues. Les roues lient la route au châssis du véhicule. Elles transforment le mouvement de rotation de l'essieu en mouvement de translation du véhicule. La puissance développée sur chaque roue est différente quand le véhicule tourne. En partant de l'hypothèse que le kart roule en ligne droite et que l'on néglige le contact entre les roues et la chaussée, les deux roues de l'essieu arrière développeront alors des couples identiques. La modélisation sera donc apparentée à une seule roue équivalente.

Châssis – le châssis du véhicule peut être représenté par une masse équivalente $M_{\text{véh}}$ décrivant la masse du kart à vide (220 kg) et de son passager (75 kg). La vitesse maximale du kart est de 60 km/h .

Environnement du véhicule – l'environnement représente les résistances externes à l'avancement du véhicule sur un plan longitudinal. On dénombre principalement trois résistances à l'avancement : résistance au roulement (1), résistance de l'air (2), et résistance due aux pentes (3). La résistance au roulement résulte de la déformation entre les roues et la chaussée. La résistance de l'air provient de la poussée frontale de l'air. La résistance due aux pentes (ou force de déclivité) caractérise la montée d'une pente du véhicule.

$$F_{\text{roul}} = f M_{\text{véh}} g \quad (1)$$

$$F_{\text{air}} = 0,5 \rho C_x S (v_{\text{véh}} + v_{\text{vent}})^2 \quad (2)$$

$$F_{\text{pente}} = M_{\text{véh}} g \alpha \quad (3)$$

Avec f le coefficient de résistance au roulement, $M_{\text{véh}}$ la masse en charge du véhicule (masse à vide du véhicule + masse du conducteur – kg), g l'accélération de la pesanteur (m/s^2), α l'angle de la pente (%), ρ la masse volumique de l'air (kg/m^3), C_x le coefficient de pénétration dans l'air, S la section transversale maxi male du véhicule (m^2), $v_{\text{véh}}$ la vitesse du véhicule (m/s), et v_{vent} la vitesse opposée du vent (m/s).

Pour le système étudié, on prendra les valeurs ci-après :

- coefficient de résistance au roulement sur macadam f : $0,02$;
- aérodynamisme standard : $C_x = 0,20$;
- section transversale du kart : $S = 0,95\text{ m}^2$;
- masse volumique de l'air à 20°C : $\rho = 1,223\text{ kg/m}^3$;

– 2 pentes à considérer :

$\alpha = 0 \%$ et

$\alpha = 10 \%$ (moyenne du Mont-Ventoux).

Programme de simulation

Dézipper le fichier « FIP_EPRM_I2_ETA124_24_25_Nom.rar » en enregistrant le dossier sur le bureau.

Changer l'appellation Nom par votre nom. Dans ce dossier, vous trouverez ces cinq fichiers :

✓ init_VE_EPRM_24_25.m : fichier d'initialisation des variables globales qui seront utilisées dans le fichier de simulation Simulink ;

✓ VE_EPRM_24_25.slx : fichier de simulation Simulink pour simuler le kart électrique ;

✓ cycle_ECE.mat : fichier de données du cycle de conduite urbain ECE ;

✓ emr_librairy.mdl : fichier Simulink comprenant la librairie des éléments de la REM ;

✓ FIP_EPRM_I2_ETA124_24_25.pdf : sujet du BE contenant les paramètres du système.

Exécuter MATLAB puis cliquer sur « Browse for folder » puis cliquer sur votre dossier de travail. Les différents fichiers à utiliser apparaissent alors dans l'onglet « Current Directory » de MATLAB.

Evaluation du travail

Le dossier « FIP_EPRM_I2_ETA124_24_25_Nom » (avec Nom votre nom) comprenant vos fichiers de simulation ainsi qu'un rapport final (10 pages max annexes comprises) devront être rendu le 31 mai 2025 au plus tard. **Tout retard entraînera une pénalité de 1 point par jour.**

L'évaluation portera pour un quart sur le programme de simulation réalisé (5 points) et pour trois quarts sur le rapport final (15 points). Le programme de simulation sera noté de la façon suivante :

- le programme n'a pas été transmis ou ne fonctionne pas (ex. la simulation affiche des erreurs / impossibilité de simuler) : 0/5 ;
- le programme fonctionne mais demande des améliorations significatives (ex. pas assez de commentaires dans le fichier d'initialisation / les résultats de simulation ne sont pas corrects) : 2,5/5 ;
- le programme fonctionne parfaitement et répond au cahier des charges : 5/5