



SAE Kart

2025/01/76

FONTAINE Neven



Table des Matières

1.	Champ d'applications	3
2.	Introduction	4
2.1	Présentation du sujet	4
2.2	Contexte	4
2.3	Objectifs	4
2.4	Planning	4
2.4.1	Diagramme de GANTT	5
3.	Cahier des charges	5
3.1	Caractéristiques du kart électrique	5
3.2	Spécifications de la carte de commande	6
3.3	Livrables	6
4.	Etude théorique.....	7
4.1	II Partie dimensionnement moteur	7
4.1.1	Calculer la vitesse (en m/s) quand le véhicule roule à 60km/h.....	7
4.1.2	Mesurer le diamètre des roues et calculer la vitesse de rotation des roues en tr/min.	7
4.1.3	Calculer le rapport de réduction (K) du système pignons + chaîne.	8
4.1.4	Calculer les pertes d'énergie par frottement sur une route macadam pour les 4 roues et une vitesse de 60km/h.	8
4.1.5	Mesurer et calculer la surface frontale du kart avec son pilote.	8
4.1.6	Calculer la massa d'air déplacée en 1 seconde lorsque le cube se déplace à 60km/h.	9
4.1.7	Calculer l'énergie cinétique qu'il faut pour déplacer cette masse d'air.	9
4.1.8	Calculer la puissance aérodynamique perdue lorsque le véhicule roule à 60km/h.....	9
4.1.9	Calculer la puissance mécanique à fournir aux roues pour rouler sur le plat à 60km/h, en prenant en compte les frottements aérodynamiques et sur route.	10
4.1.10	Calculer le couple résistant correspondant à cette puissance.	10
4.1.11	Rappeler le moment d'inertie sur une charge ponctuelle.	10
4.1.12	Calculer le moment d'inertie du kart ramené sur les roues arrière.	11
4.1.13	En supposant que le couple résistant reste constant pendant l'accélération, calculer le couple mécanique à fournir aux roues arrière pour atteindre 40km/h en 4secondes.....	11
4.1.14	Calculer la puissance à fournir aux roues arrière pour atteindre 40km/h en 4 secondes.	12
4.1.15	Calculer la puissance qu'il faut pour cela.	12
4.1.16	Calculer la vitesse de rotation du moteur électrique.....	12
4.1.17	Calculez le couple électromagnétique du moteur.	13
4.1.18	Quel est l'avantage de mettre un réducteur entre le moteur et les roues motrices ?	13
4.1.19	Le couple moteur et variateur de vitesse a un rendement global de 80%. Calculez la puissance absorbée par le moteur et le variateur.	13
4.1.20	Comme le moteur électrique ne fonctionnera pas toujours à sa puissance maximale, on suppose que pour un cycle courant le moteur consomme en moyenne 70% de sa puissance maximale pour une vitesse moyenne de 40km/h. Quel est la quantité d'énergie consommé par le moteur en 30minutes ?	14
4.1.21	Calculez l'énergie max stockée (en Kwh) par les batteries.	14
4.1.22	Dans 1 cycle, on estime que l'on peut utiliser 50% de l'énergie maximale stockée dans les batteries. Calculez l'autonomie du kart.	15
4.2	III Partie convertisseur (puissance)	15

4.2.1	Démontrer de quoi dépend la vitesse de rotation et le couple électromagnétique d'une machine à courant continu.....	15
4.2.2	A partir du cahier des charges, déduisez la nature et la réversibilité en courant et en tension des sources d'entrée et de sortie du convertisseur d'énergie.....	16
4.2.3	Identifier sur la structure de base du convertisseur avec des interrupteurs NO classiques, les séquences de fonctionnement nécessaires pour contrôler le transfert d'Énergie entre les sources d'entrée et de sortie.	17
4.2.4	Peut-on simplifier la structure de base ?	17
4.2.5	Représenter dans le plan IK, VK le point de fonctionnement de chaque interrupteur.	18
4.2.6	Choisir les interrupteurs du convertisseur.....	18
4.2.7	En vous aidant des annexes sur l'IGBT, celui-ci convient-il ?.....	19
4.2.8	Calculer la puissance dissipée dans l'IGBT pour la puissance maximale du moteur.....	19
4.2.9	Calculer le radiateur à placer sur l'IGBT.	20
4.2.10	La diode dans les annexes convient-elle ?	20
4.2.11	Calculer la puissance dissipée dans la diode pour la puissance maximale du moteur.	21
4.2.12	Calculer le radiateur à placer sur la diode.....	21
4.2.13	Préciser comment vous allez régler la vitesse de rotation du moteur.	21
4.2.14	En moins de 50V, est-il une obligation d'isoler la puissance de la commande ?	22
4.2.15	Calculer le nombre de spires qu'il va falloir mettre sur le circuit magnétique pour faire cette inductance.	22
5.	Spécification matériel.....	23
5.1	Analyse fonctionnelle	23
5.1.1	SADT.....	23
5.2	Nomenclature	25
5.2.1	Description des composants	25
5.3	Schéma électrique.....	27
6.	Conclusion	27
7.	Abréviation	27

1. Champ d'applications

Dans le cadre de l'enseignement de M. Bellier, dans le module SAE MOTEUR KART ÉLECTRIQUE, ce document vise à récapituler le travail effectué.

2. Introduction

2.1 Présentation du sujet

Dans le cadre de ce projet, nous nous sommes concentrés sur la conception et le développement de la carte de commande d'un kart électrique destiné à la compétition. Le but principal de ce système est de permettre au kart d'atteindre des performances optimales, tout en répondant aux contraintes du cahier des charges. Ce kart, conçu pour être performant dans des conditions de course, se distingue par sa nervosité, sa capacité à atteindre rapidement une vitesse de pointe, et sa maniabilité. La carte de commande joue un rôle clé en optimisant le contrôle du moteur électrique.

2.2 Contexte

Ce projet s'inscrit dans le cadre de l'enseignement au département GEII, et il est principalement utilisé dans un environnement compétitif. Ce kart électrique joue un rôle crucial en démontrant la faisabilité et la performance d'un système de commande intégré dans le cadre d'une application de course.

2.3 Objectifs

Les objectifs de ce projet sont multiples :

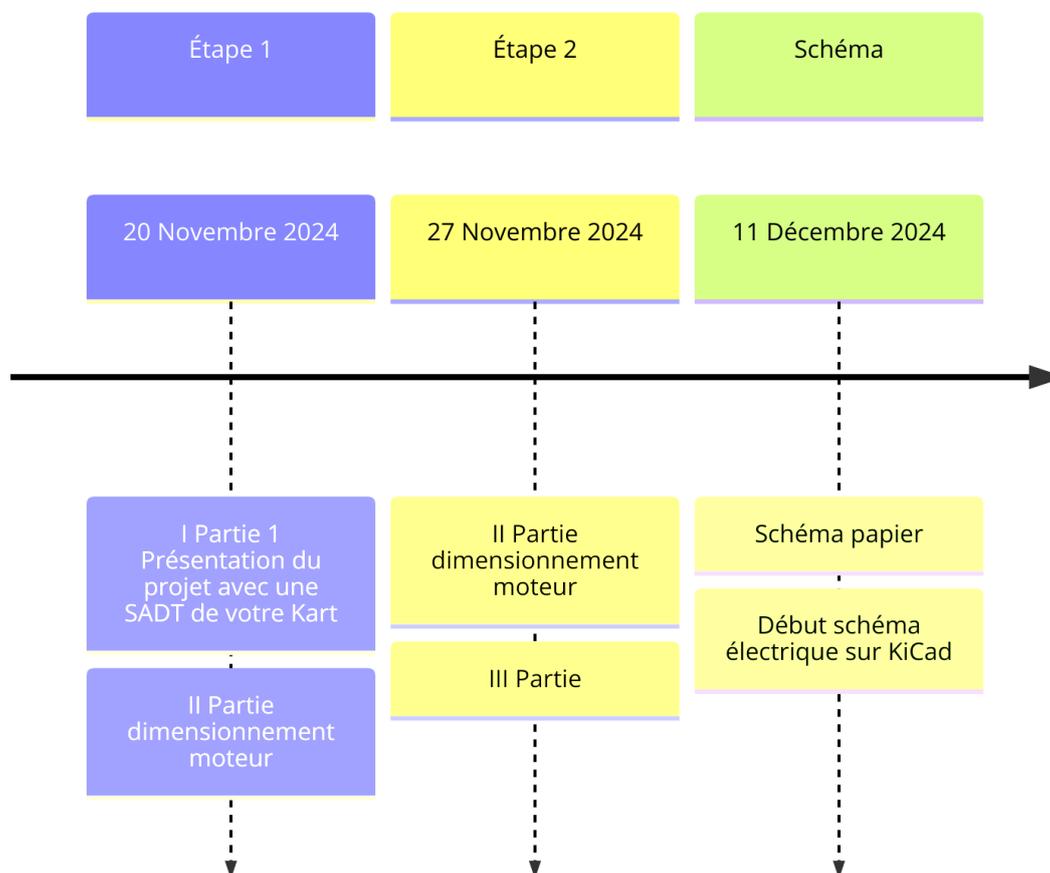
- Développement de la carte de commande
- Rédaction d'un rapport technique en PDF
- Création d'un schéma électrique sous KiCAD
- Présentation orale en soutenance individuelle de 10 minutes
- Devoir SAE individuel

2.4 Planning

Pour assurer le bon déroulement du projet, nous avons élaboré un planning détaillé avec un diagramme de Gantt et une répartition des tâches entre les membres de l'équipe.

2.4.1 Diagramme de GANTT

Chronologie du Projet Kart



3. Cahier des charges

Ce cahier des charges décrit les exigences techniques et fonctionnelles pour la conception et la réalisation du kart électrique.

3.1 Caractéristiques du kart électrique

- Masse maximale : 250 kg (175 kg pour le kart + 75 kg pour le conducteur).
- Vitesse maximale : 60 km/h.
- Accélération : Le kart doit atteindre 40 km/h en 4 secondes.
- Coefficient aérodynamique (Cx) : 0,5.
- Surface frontale : À calculer avec le pilote assis.
- Transmission arrière :
 - Roues motrices sans différentiel.
 - Système de réduction pignons + chaîne avec un rendement de 92 %.
- Batterie : 48 V (4x12 V) avec une capacité de 50 Ah.

- Freinage électrique : Non prévu.

3.2 Spécifications de la carte de commande

- Protection :
 - Protégée contre les courts-circuits.
 - Protégée contre les inversions de polarité.
- Indicateur d'état permettant de voir si la commande est sous tension
- Limitation du courant dans le moteur
- Carte simple et analogique
- Coût maximal : 25 €.
- Dimensions maximales : Moins de 10 cm de côté et moins de 4 cm de hauteur
- Connexions :
 - Connexion pour la variation vitesse (Jvit).
 - Connexion pour la mesure du courant (Jint).
 - Connexion pour la commande de l'interrupteur de puissance (Jcom).
 - Connexion pour l'entrée d'alimentation (Jent).

3.3 Livrables

- Carte de commande :
 - Une carte fonctionnelle respectant les contraintes définies (techniques et budgétaires).
- Rapport en PDF
 - Format : PDF
- Contenu :
 - Page de garde avec nom et prénom à gauche, IUT de CHARTRES Département GEII au centre, et la date à droite.
 - Sommaire paginé généré automatiquement.
 - Texte structuré comprenant figures, analyses, et conclusion.
 - Annexes éventuelles.
- Mise en page :
 - Texte justifié.
 - En-tête et pied de page générés automatiquement.

4. Etude théorique

4.1 II Partie dimensionnement moteur

4.1.1 Calculer la vitesse (en m/s) quand le véhicule roule à 60km/h.

Pour convertir une vitesse donnée en kilomètres par heure (km/h) en mètres par seconde (m/s), on applique la formule suivante :

$$V = \frac{\text{Vitesse (en km/h)}}{3,6}$$

Avec une vitesse de 60 km/h, j'ai obtenu le résultat suivant :

$$V = \frac{60\text{km}}{\text{h}} \rightarrow V \left[\frac{\text{km}}{\text{s}} \right] = \frac{60\text{km}}{3,6\text{s}} = 16,6\text{m/s}$$

4.1.2 Mesurer le diamètre des roues et calculer la vitesse de rotation des roues en tr/min.

On a mesuré le diamètre des roues et utilisé cette valeur pour calculer leur périmètre, puis leur vitesse de rotation en tours par minute (tr/min).

1. Calcul du périmètre de la roue :

$$P = \pi \times D$$

Avec $D = 26 \text{ cm} = 0,26 \text{ m}$, on obtient :

$$P = 3,14 \times 0,26 = 0,816 \text{ m}$$

2. Calcul de la vitesse de rotation des roues :

$$n = V / P$$

En prenant $V = 16,6 \text{ m/s}$, on calcule :

$$n = 16,6 / 0,816 = 20,32 \text{ tr/s}$$

3. Conversion en tours par minute :

$$n = 20,32 \text{ tr/s} \times 60 = 1219,2 \text{ tr/min}$$

Pour simplifier, on arrondit à :

$$n \approx 1200 \text{ tr/min}$$

4.1.3 Calculer le rapport de réduction (K) du système pignons + chaîne.

Pour cette étape, j'ai calculé le rapport de réduction du système en utilisant le nombre de dents du pignon moteur et celui de la roue motrice. La formule est la suivante :

$$K = \text{Dents moteur} / \text{Dents roues}$$

En prenant les valeurs suivantes :

Dents moteur = 19

Dents roues = 74

Le calcul :

$$K = 19 / 74 = 0,256$$

Le résultat final est :

$$K = 0,256$$

4.1.4 Calculer les pertes d'énergie par frottement sur une route macadam pour les 4 roues et une vitesse de 60km/h.



$$4 * 25 \text{cm} = 100 \text{cm}$$

$$\begin{aligned} P_{frott} &= E_{frott} \text{ pour } t = 1 \text{s} \\ t &= 1 \text{s} \rightarrow 16.6 \text{m parcouru} \\ h \text{ correspondante: } &1.6 \text{m} \rightarrow 100 \text{m} \\ &h \rightarrow 16.6 \text{m} \end{aligned}$$

$$h = \frac{1.6 * 16.6}{100} = 0.256 \text{m}$$

$$E_{frott} = m * g * h = 250 * 10 * 0.256 = 640 \text{J} = 640 \text{W car } t = 1 \text{s}$$

Ecrasement $\approx 1 \text{cm}$

$L_c = 8 \text{cm}$

$K_{db} \text{ macadam} = 15$

$$\frac{25}{15} = 1.6 \text{m de hauteur pour } 100 \text{m de parcouru}$$

4.1.5 Mesurer et calculer la surface frontale du kart avec son pilote.

Les dimensions mesurées et les calculs effectués sont les suivants :

Largeur du kart : 145 cm

Hauteur du kart (h) : 37 cm

Largeur du pilote : 37 cm

Hauteur du pilote (assis) : 80 cm

Surface du pilote dépassant la hauteur du kart :

$$h_{pilote} - h_{kart} = 80 \text{ cm} - 37 \text{ cm} = 30 \text{ cm}$$
$$30 \text{ cm} \times 37 \text{ cm} = 1100 \text{ cm}^2 = 0,11 \text{ m}^2$$

Surface frontale du kart :

$$0,37 \text{ m} \times 1,45 \text{ m} = 0,53 \text{ m}^2$$

Surface frontale totale (kart + pilote) :

$$0,53 \text{ m}^2 + 0,11 \text{ m}^2 = 0,65 \text{ m}^2$$

Surface frontale totale : 0,65 m²

4.1.6 Calculer la masse d'air déplacée en 1 seconde lorsque le cube se déplace à 60km/h.

La masse d'air déplacée est calculée en utilisant la formule suivante :

$$m_{\text{air déplacée}} = Vol * \rho_{\text{air}}$$

Le volume est défini par :

$$Vol = Surface * Distance = Surface * Longueur \text{ pour } t = 1 \text{ s}$$

En effectuant les calculs :

$$Vol = 0,65 \text{ m}^2 * 16,6 \text{ m} = 10,8 \text{ m}^3 \text{ d'air}$$

Ensuite, la masse d'air est donnée par :

$$m_{\text{air}} = 10,8 \text{ m}^3 * 1,2 \text{ kg/m}^3 \approx 13 \text{ kg} \text{ d'air déplacée à } 60 \text{ km/h}$$

4.1.7 Calculer l'énergie cinétique qu'il faut pour déplacer cette masse d'air.

Pour calculer l'énergie cinétique nécessaire au déplacement de cette masse d'air, j'ai utilisé la formule suivante :

$$Ec = 1/2 * m * V^2$$

J'ai donc appliqué les valeurs :

$$Ec = 1/2 * 13 * (16,6)^2$$

En effectuant le calcul, j'ai trouvé :

$$Ec = 1791 \text{ J}$$

Comme le temps est égal à 1 seconde, cette énergie cinétique correspond directement à P_cinétique.

4.1.8 Calculer la puissance aérodynamique perdue lorsque le véhicule roule à 60km/h.

Pour déterminer la puissance aérodynamique perdue lorsque le véhicule roule à 60 km/h, j'ai utilisé la relation suivante :

$$P_{\text{aéro}} = P_{\text{cinétique}} * C_x$$

En remplaçant les valeurs :

$$P_{\text{aéro}} = 1791 * 0,5$$

Après calcul, cela donne :

$$P_{\text{aéro}} = 900 \text{ W}$$

Cette puissance représente la perte due à la résistance aérodynamique à cette vitesse.

4.1.9 Calculer la puissance mécanique à fournir aux roues pour rouler sur le plat à 60km/h, en prenant en compte les frottements aérodynamiques et sur route.

Pour calculer la puissance mécanique nécessaire pour rouler sur le plat à 60 km/h, j'ai pris en compte à la fois les frottements aérodynamiques et les frottements sur la route. La formule utilisée est :

$$P_{méca} = P_{frott} + P_{aéro}$$

En intégrant les valeurs :

$$P_{méca} = 640 + 900$$

Après calcul, j'ai obtenu :

$$P_{méca} = 1540 \text{ W}$$

Cette puissance correspond à l'énergie mécanique que le système doit fournir pour compenser les pertes dues aux frottements.

4.1.10 Calculer le couple résistant correspondant à cette puissance.

Pour calculer le couple résistant correspondant à cette puissance, j'ai suivi les étapes suivantes :

Tout d'abord, j'ai utilisé la relation :

$$\Omega = 2\pi * n$$

Avec n = 20 tr/s, ce qui donne :

$$\Omega = 2\pi * 20 = 126 \text{ rad/s}$$

Ensuite, j'ai déterminé la puissance mécanique requise en tenant compte du rendement du réducteur :

$$P_{rmot} = P_{méca} / \eta_{réducteur}$$

$$P_{rmot} = 1540 / 0,92 \approx 1674 \text{ W}$$

Enfin, j'ai appliqué la formule du couple :

$$C_r = P_r / \Omega$$

$$C_r = 1674 / 126 \approx 12,2 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Ce couple représente la résistance que le moteur doit surmonter pour maintenir la vitesse de 60 km/h.

4.1.11 Rappeler le moment d'inertie sur une charge ponctuelle.

$$J_{mp} = m * R^2$$

Dans cette relation :

m représente la masse de la charge (en kg),
R est la distance entre la charge et l'axe de rotation (en m).
 Le moment d'inertie ainsi calculé est exprimé en kg·m².

4.1.12 Calculer le moment d'inertie du kart ramené sur les roues arrière.

Pour calculer le moment d'inertie du kart ramené sur les roues arrière, j'ai procédé de la manière suivante :

Tout d'abord, j'ai calculé le moment d'inertie pour une roue en utilisant la formule :

$$J_{roue} = m * R^2$$

Avec $m = 125 \text{ kg}$ et $R = 0,13 \text{ m}$, cela donne :

$$J_{roue} = 125 * (0,13)^2 = 2,1 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

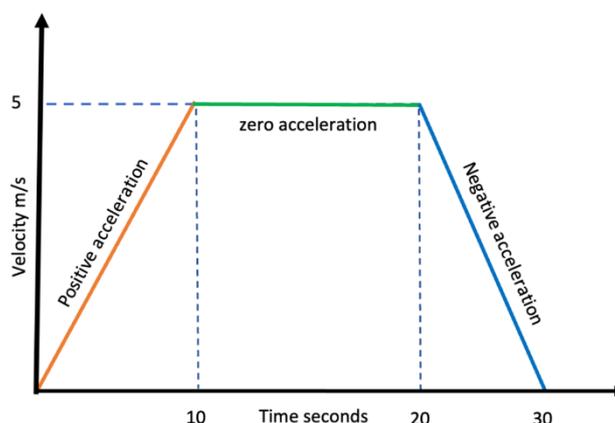
Ensuite, comme il y a deux roues, j'ai déterminé le moment d'inertie total :

$$J_t = 2 * J_{roue}$$

$$J_t = 2 * 2,1 = 4,2 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

Ce moment d'inertie total représente la résistance à la rotation des deux roues arrière du kart.

4.1.13 En supposant que le couple résistant reste constant pendant l'accélération, calculer le couple mécanique à fournir aux roues arrière pour atteindre 40km/h en 4secondes.



Pour calculer le couple mécanique nécessaire aux roues arrière pour atteindre 40 km/h en 4 secondes, j'ai utilisé la formule :

$$J_t * (d\Omega_{roue} / dt) = C_{em} - C_r$$

Données et conversions :

- $C_r = 12,2 \text{ N}\cdot\text{m}$
- Vitesse cible : $V = 40 \text{ km/h} \rightarrow n_{roue} = 13,6 \text{ tr/s}$
- $\Omega_{roue} = 2\pi * n_{roue} = 85,5 \text{ rad/s}$
- Variation angulaire : $d\Omega_{roue} = \Omega_{roue} / t = 85,5 / 4 = 21,4 \text{ rad/s}^2$

Calcul du couple moteur :

- Moment d'inertie : $J_t = 4,2 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$
- $C_{em} = J_t * d\Omega_{roue} + C_r = 4,2 * 21,4 + 12,2 \approx 102 \text{ N}\cdot\text{m}$

Résultat : Le couple mécanique à fournir est 102 N·m.

4.1.14 Calculer la puissance à fournir aux roues arrière pour atteindre 40km/h en 4 secondes.

Pour calculer la puissance à fournir aux roues arrière pour atteindre 40 km/h en 4 secondes, j'ai utilisé la relation suivante :

$$C = P / \Omega$$

D'où :

$$P_{roue} = C_{roue} * \Omega_{roue}$$

Données utilisées :

Couple résistant aux roues : $C_{roue} = 102 \text{ N}\cdot\text{m}$

Vitesse angulaire des roues : $\Omega_{roue} = 85,5 \text{ rad/s}$

Calcul de la puissance :

$$P_{roue} = 102 * 85,5 = 8720 \text{ W}$$

Résultat :

La puissance à fournir aux roues arrière pour atteindre cette vitesse est 8720 W.

4.1.15 Calculer la puissance qu'il faut pour cela.

Pour calculer la puissance qu'il faut fournir au moteur, j'ai utilisé la relation suivante :

$$\eta_{red} = P_{sortie} / P_{entrée}$$

D'où :

$$P_{entrée} = P_{sortie} / \eta_{red}$$

Données utilisées :

Puissance à la sortie : $P_{sortie} = 8720 \text{ W}$

Rendement du réducteur : $\eta_{red} = 0,92$

Calcul de la puissance d'entrée :

$$P_{entrée} = 8720 / 0,92 \approx 9500 \text{ W}$$

Résultat :

La puissance nécessaire à fournir au moteur est 9500 W.

4.1.16 Calculer la vitesse de rotation du moteur électrique.

Pour calculer la vitesse de rotation du moteur électrique, j'ai utilisé la relation suivante :

$$N_{mot} = n_{roue} / K_{red}$$

Données utilisées :

Fréquence de rotation des roues pour 60 km/h : $n_{roue} = 20 \text{ tr/s}$

Rapport de réduction : $K_{red} = 0,256$

Calcul de la vitesse de rotation du moteur :

$$N_{mot} = 20 / 0,256 \approx 78 \text{ tr/s}$$

En convertissant en tours par minute :

$$N_{mot} = 78 * 60 = 4680 \text{ tr/min}$$

Résultat :

La vitesse de rotation du moteur électrique est 4680 tr/min.

4.1.17 Calculez le couple électromagnétique du moteur.

Pour calculer le couple électromagnétique du moteur, j'ai utilisé la formule :

$$C = P / \Omega$$

En supposant que la puissance utile (P_u) est approximativement égale à la puissance électromagnétique (P_{em}), et que les pertes mécaniques sont négligeables, on a :

$$C_{em} \approx P_u / \Omega$$

Données utilisées :

Puissance du moteur : $P_u = 9500 \text{ W}$

Vitesse angulaire : $\Omega = 2\pi * 78 \text{ rad/s}$

Calcul du couple :

$$C_{em} = 9500 / (2\pi * 78) \approx 19,4 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Résultat :

Le couple électromagnétique du moteur est 19,4 N·m.

4.1.18 Quel est l'avantage de mettre un réducteur entre le moteur et les roues motrices ?

L'avantage principal de placer un réducteur entre le moteur et les roues motrices est d'augmenter le couple transmis aux roues. Cela permet au moteur de fournir une force suffisante pour surmonter les résistances (aérodynamiques, frottements, etc.) tout en optimisant son fonctionnement à des régimes plus adaptés.

*4.1.19 Le couple moteur et variateur de vitesse a un rendement global de 80%. Calculez la puissance absorbée par le moteur et le variateur.***Le rendement global du moteur et du variateur de vitesse est donné par :**

$$\eta = P_u / P_{abs}$$

En réarrangeant la formule :

$$P_{abs} = P_u / \eta$$

Données utilisées :

Puissance utile (P_u) : 9500 W

Rendement global (η) : 0,8

Calcul de la puissance absorbée :

$$P_{abs} = 9500 / 0,8 \approx 11875 \text{ W}$$

Résultat :

La puissance absorbée par le moteur et le variateur de vitesse est 11875 W.

4.1.20 Comme le moteur électrique ne fonctionnera pas toujours à sa puissance maximale, on suppose que pour un cycle courant le moteur consomme en moyenne 70% de sa puissance maximale pour une vitesse moyenne de 40km/h. Quel est la quantité d'énergie consommé par le moteur en 30minutes ?

Données utilisées :

Puissance absorbée maximale : $P_{abs \max} = 11875 \text{ W} = 11,875 \text{ kW}$

Puissance moyenne consommée : $P_{abs} = 0,7 * 11,875 = 8,3 \text{ kW}$

Durée : $t = 30 \text{ minutes} = 0,5 \text{ h}$

Calcul de l'énergie consommée :

$$E_{abs} = P_{abs} * t$$
$$E_{abs} = 8,3 * 0,5 = 4,15 \text{ kWh}$$

Résultat :

La quantité d'énergie consommée par le moteur en 30 minutes est 4,15 kWh.

4.1.21 Calculez l'énergie max stockée (en Kwh) par les batteries.

Batteries de 50Ah en 12V (4 batteries) en série :

Les batteries ont une capacité de 50 Ah chacune, avec une tension de 12 V. Elles sont connectées en série, ce qui donne :

Tension totale : $12 \text{ V} * 4 = 48 \text{ V}$

Formule utilisée :

$$E = P * t$$

Or, $P = U * I$, donc :

$$E = U * I * t$$

Données utilisées :

Tension totale : 48 V

Capacité : 50 Ah

Temps : 1 h

Calcul de l'énergie :

$$E = 48 * 50 * 1 = 2400 \text{ Wh} = 2,4 \text{ kWh}$$

Résultat :

L'énergie maximale stockée par les batteries est 2,4 kWh.

4.1.22 Dans 1 cycle, on estime que l'on peut utiliser 50% de l'énergie maximale stockée dans les batteries. Calculez l'autonomie du kart.

Dans un cycle, on peut utiliser 50% de l'énergie maximale stockée dans les batteries.

Données utilisées :

Énergie utilisable : $E = 50\% * 2,4 kWh = 1,2 kWh$

Puissance moyenne consommée : $P = 8,3 kW$ (pour $V = 40 km/h$)

Calcul du temps d'autonomie :

$$t = E / P = 1,2 / 8,3 \approx 0,14 h$$

Calcul de la distance parcourue :

Avec une vitesse de $V = 40 km/h$:

$$D = V * t = 40 * 0,14 \approx 5,6 km$$

Résultat :

L'autonomie du kart est d'environ 5,6 km par cycle.

4.2 III Partie convertisseur (puissance)

4.2.1 Démontrer de quoi dépend la vitesse de rotation et le couple électromagnétique d'une machine à courant continu.

Vitesse de rotation

La force électromotrice induite dans une machine à courant continu est donnée par :

$$E = N * n * \Phi$$

Où :

E : force électromotrice (en V),

N : constante de la machine,

n : vitesse de rotation (en tr/s),

Φ : flux magnétique (en Wb).

En tenant compte de la loi des circuits électriques :

$$U = E + R * I$$

En général, $R * I$ est négligeable par rapport à E ou U, donc :

$$E \approx U$$

En réorganisant l'équation :

$$U \approx N * n * \Phi$$

On obtient la vitesse de rotation :

$$n = U / (N * \Phi)$$

$$n = K * U$$

Où $K = 1 / (N * \Phi)$ est une constante.

Conclusion : La vitesse de rotation (n) dépend principalement de la tension appliquée (U) et du flux magnétique (Φ).

Couple électromagnétique

Le couple électromagnétique est défini par la relation :

$$C_{em} = P_{em} / \Omega$$

Où :

P_{em} : puissance électromagnétique,

Ω : vitesse angulaire (en rad/s).

En tenant compte de la puissance électromagnétique :

$$P_{em} = E * I$$

Et de la relation entre la vitesse angulaire et la vitesse de rotation :

$$\Omega = 2\pi * n$$

On obtient :

$$C_{em} = (N * n * \Phi * I) / (2\pi * n)$$

En simplifiant :

$$C_{em} = (N * \Phi / 2\pi) * I$$

On peut réécrire :

$$C_{em} = K' * I$$

Où $K' = N * \Phi / 2\pi$ est une constante.

Conclusion : Le couple électromagnétique (C_{em}) dépend principalement de l'intensité du courant (I) et du flux magnétique (Φ).

4.2.2 A partir du cahier des charges, déduisez la nature et la réversibilité en courant et en tension des sources d'entrée et de sortie du convertisseur d'énergie.

Source d'entrée : tension

La source d'entrée fonctionne en tension continue.

$V_e > 0$, avec une valeur spécifiée de 48 V dans le cahier des charges.

$I_e > 0$, l'intensité est toujours positive et ne peut pas descendre en dessous de 0, car la source ne peut pas fonctionner comme un générateur.

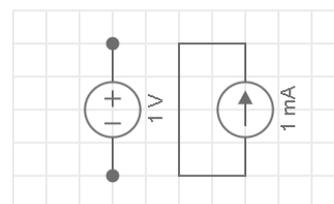
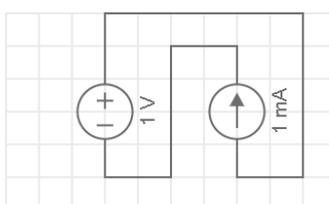
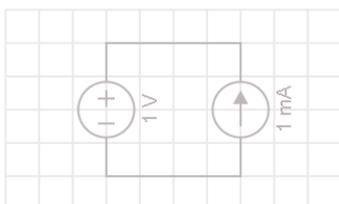
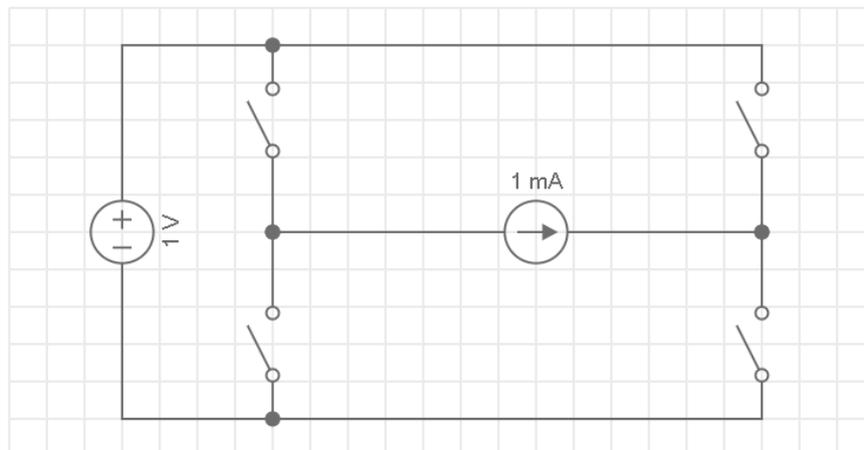
Source de sortie : courant

La source de sortie est associée au courant fourni au moteur.

$V_s > 0$, car la vitesse de rotation (n) ne peut pas être négative. Le système n'est pas conçu pour fonctionner en marche arrière.

$I_s > 0$, l'intensité est toujours positive et ne peut pas descendre en dessous de 0, car la source de sortie ne peut pas fonctionner en mode générateur.

4.2.3 Identifier sur la structure de base du convertisseur avec des interrupteurs NO classiques, les séquences de fonctionnement nécessaires pour contrôler le transfert d'Énergie entre les sources d'entrée et de sortie.



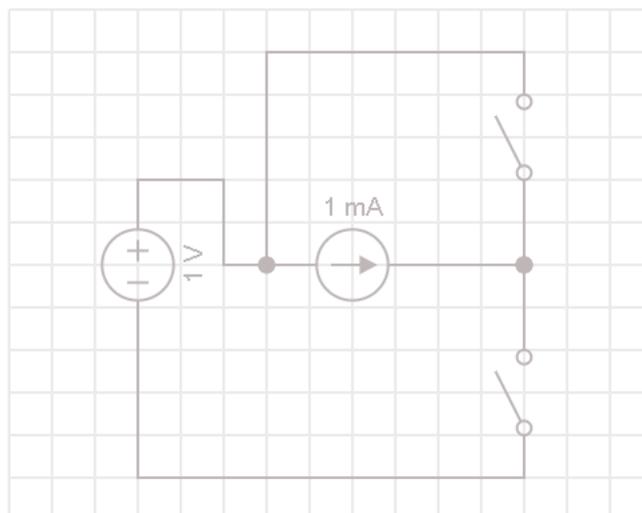
4.2.4 Peut-on simplifier la structure de base ?

Oui, il est possible de simplifier la structure de base.

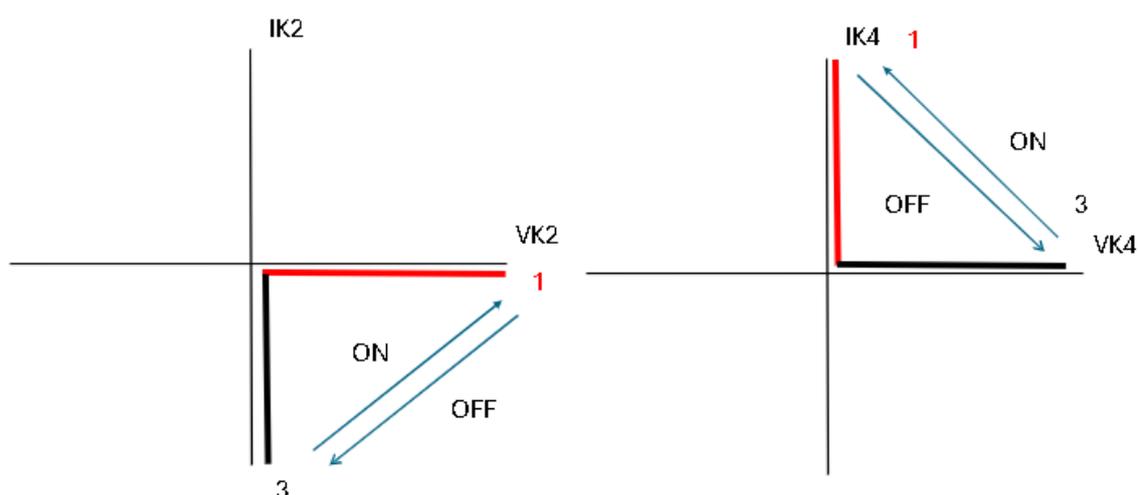
En se référant à la question 3, on constate que :

- L'interrupteur K1 est toujours fermé, il peut donc être remplacé par un simple fil.
- L'interrupteur K3 est toujours ouvert, ce qui signifie qu'il n'est pas utilisé et peut être supprimé.

Ces modifications permettent de simplifier le circuit tout en conservant son fonctionnement d'origine.



4.2.5 Représenter dans le plan IK, VK le point de fonctionnement de chaque interrupteur.



4.2.6 Choisir les interrupteurs du convertisseur.

Pour l'interrupteur K4, le choix se porte sur un transistor IGBT. Ce choix est justifié par plusieurs raisons :

- Le MOSFET n'est pas retenu, car il présente des limitations au niveau du courant de sortie, qui serait insuffisant pour notre application.
- Le transistor bipolaire est également écarté, car sa commande est plus complexe à mettre en place, ce qui ne correspond pas aux exigences du cahier des charges.

Ainsi, l'IGBT apparaît comme la solution la plus adaptée en raison de ses performances et de sa facilité de commande.

Pour l'interrupteur K2, nous optons pour une diode. Ce choix est motivé par sa capacité à ne laisser passer que du courant positif, ce qui répond parfaitement aux besoins de notre système.

4.2.7 En vous aidant des annexes sur l'IGBT, celui-ci convient-il ?

Faisons le récapitulatif des données :

Pour déterminer si l'IGBT convient à notre application, analysons les données et les exigences :

Données du système :

Puissance absorbée par le moteur ($P_{abs MCC}$) = 11,9 kW

Tension de la batterie (V_{batt}) = 48 V

En utilisant la formule $P = U * I$ en continu, nous obtenons :

$$I = P / V = 11\,900 / 48 = 248\,A$$

Caractéristiques de l'IGBT (d'après les annexes) :

I_c = 100 A (courant nominal),

$V_{CE} \approx 1,6$ V (tension de saturation),

D'après la figure 4 des annexes, I_c IGBT ≈ 120 A si $T_{case} \approx 80^\circ\text{C}$.

Analyse de compatibilité :

Le courant requis pour le moteur ($I = 248$ A) est supérieur à la capacité maximale d'un seul IGBT (I_c IGBT ≈ 120 A). Par conséquent, un seul IGBT ne peut supporter cette intensité de manière fiable.

Solution :

Pour répondre aux besoins du système, il est nécessaire de mettre deux IGBT en parallèle afin de partager le courant et garantir leur fonctionnement en toute sécurité.

4.2.8 Calculer la puissance dissipée dans l'IGBT pour la puissance maximale du moteur.

Pour déterminer la puissance dissipée dans l'IGBT, on utilise la formule suivante :

$$P_{diss} = V_{CE} * I_C * R$$

Données utilisées :

$V_{CE} = 1,75$ V (tension de saturation de l'IGBT),

$I_C = 125$ A (courant traversant l'IGBT),

$R = 1$ (facteur sans unité pour simplifier l'équation donnée).

Calcul de la puissance dissipée :

$$P_{diss} = 1,75 * 125 * 1 = 219\,W$$

Résultat :

La puissance dissipée dans l'IGBT pour la puissance maximale du moteur est 219 W.

4.2.9 Calculer le radiateur à placer sur l'IGBT.

Pour dimensionner le radiateur à placer sur l'IGBT, on utilise la relation suivante :

$$\theta_j - \theta_a = P_{diss} * R_{TH}(ja)$$

Données utilisées :

$\theta_j = 150^\circ\text{C}$ (température maximale admissible de la jonction),

$\theta_a = 40^\circ\text{C}$ (température ambiante),

$P_{diss} = 220 \text{ W}$ (puissance dissipée dans l'IGBT).

Calcul de la résistance thermique totale jonction-ambiance :

$$R_{TH}(ja) = (\theta_j - \theta_a) / P_{diss}$$
$$R_{TH}(ja) = (150 - 40) / 220 = 0,5 \text{ (}^\circ\text{C)/W}$$

Décomposition de $R_{TH}(ja)$:

La résistance thermique totale est la somme des résistances intermédiaires :

$$R_{TH}(ja) = R_{TH}(jc) + R_{TH}(ch) + R_{TH}(ha)$$

Où :

$R_{TH}(jc) = 0,25 \text{ (}^\circ\text{C)/W}$ (jonction-coque),

$R_{TH}(ch) = 0,05 \text{ (}^\circ\text{C)/W}$ (coque-radiateur),

$R_{TH}(ha)$ est la résistance thermique du radiateur à déterminer.

Calcul de $R_{TH}(ha)$:

$$0,5 = 0,25 + 0,05 + R_{TH}(ha)$$
$$R_{TH}(ha) = 0,5 - (0,25 + 0,05) = 0,2 \text{ (}^\circ\text{C)/W}$$

Résultat :

La résistance thermique du radiateur à placer sur l'IGBT est $R_{TH}(ha) = 0,2 \text{ (}^\circ\text{C)/W}$.

4.2.10 La diode dans les annexes convient-elle ?

D'après les informations fournies, nous disposons d'un bloc de diodes contenant 2 diodes. Les caractéristiques de ces diodes sont les suivantes :

Chaque diode peut supporter un courant de 100 A,

Le bloc complet peut donc supporter un total de 200 A.

Ces diodes sont spécifiquement des diodes de roue libre, utilisées pour protéger les composants contre les surtensions générées par les variations de courant.

Compte tenu du courant maximal requis dans le système, qui est inférieur ou égal à 200 A, le bloc de diodes disponible est suffisant pour répondre aux exigences. Par conséquent, ce dernier convient parfaitement.

4.2.11 Calculer la puissance dissipée dans la diode pour la puissance maximale du moteur.

Formule utilisée :

$$P_{cond} = V_D * I_D * R$$

Données utilisées :

Tension directe de la diode : $V_D = 0,95 \text{ V}$,
Courant moyen traversant la diode : $I_D = 100 \text{ A}$ (estimation haute),
Facteur $R = 1$.

Calcul de la puissance dissipée pour une diode :

$$P_{cond} = 0,95 * 100 * 1 = 95 \text{ W}$$

Calcul pour le bloc de diodes (2 diodes) :

Puisque le bloc contient 2 diodes :

$$P_{total} = 2 * P_{cond} = 2 * 95 = 190 \text{ W}$$

Résultat :

La puissance dissipée totale dans le bloc de diodes est de 190 W pour la puissance maximale du moteur.

4.2.12 Calculer le radiateur à placer sur la diode.

Formule utilisée :

$$R_{TH}(ja \text{ totale}) = (\theta_j - \theta_a) / P_{diss}$$

Données utilisées :

$\theta_j = 150^\circ\text{C}$ (température maximale admissible de la jonction),
 $\theta_a = 40^\circ\text{C}$ (température ambiante),
 $P_{diss} = 190 \text{ W}$ (puissance dissipée dans le bloc de diodes).

Calcul de la résistance thermique totale :

$$R_{TH}(ja \text{ totale}) = (150 - 40) / 190$$
$$R_{TH}(ja \text{ totale}) = 110 / 190 \approx 0,58 \text{ (}^\circ\text{C/W)}$$

Résultat :

La résistance thermique totale nécessaire pour le radiateur à placer sur la diode est de 0,58 ($^\circ\text{C/W}$).

4.2.13 Préciser comment vous allez régler la vitesse de rotation du moteur.

Pour régler la vitesse de rotation du moteur, nous utiliserons le rapport cyclique des transistors IGBT. En modifiant ce rapport cyclique, il est possible de contrôler la tension moyenne appliquée au moteur. Cette tension moyenne influe directement sur la vitesse de rotation du moteur, comme elle est proportionnelle à la force électromotrice générée. Ainsi, en ajustant le rapport cyclique, nous pouvons augmenter ou diminuer la vitesse de rotation en fonction des besoins.

4.2.14 En moins de 50V, est-il une obligation d'isoler la puissance de la commande ?

Il n'y a pas d'obligation d'isoler la puissance de la commande lorsque la tension est inférieure à 50 V. Cette limite est généralement considérée comme une tension de sécurité, au-dessous de laquelle les risques électriques sont réduits, et l'isolation n'est pas strictement nécessaire.

4.2.15 Calculer le nombre de spires qu'il va falloir mettre sur le circuit magnétique pour faire cette inductance.

Pour déterminer le nombre de spires à enrouler sur le circuit magnétique, nous procédons étape par étape :

Formules et relations utilisées :

$$H * L_g = \Sigma NI$$

$$B = \mu * H \rightarrow B = \mu_0 * \mu_r * H$$

En combinant : $H = B / (\mu_0 * \mu_r)$

Substituer dans $H * L_g = \Sigma NI$ donne :

$$B / (\mu_0 * \mu_r) * L_g = \Sigma NI$$

En réarrangeant, on trouve :

$$\phi * L_g / (\mu_0 * \mu_r * S) = NI, \text{ où :}$$

$$\phi = B * S,$$

$$L = N^2 / R \text{ avec } R \approx 1 / AL.$$

Calcul des spires : Si $L = 400 \mu\text{H}$:

$$N^2 = L / AL$$

Substitution des valeurs :

$$N^2 = (400 \times 10^{-6}) / (2790 \times 10^{-9}) \approx 143$$

En prenant la racine carrée :

$$N \approx \sqrt{143} \approx 12 \text{ spires}$$

Vérification avec un nombre différent de spires : Si $N = 20$ spires, l'inductance devient :

$$L = N^2 * AL = 20^2 * 2790 \times 10^{-9} \approx 1,1 \text{ mH}$$

Résultat :

Pour une inductance de $400 \mu\text{H}$, il faut 12 spires.

Si on utilise 20 spires, l'inductance augmentera à 1,1 mH.

5. Specification matériel

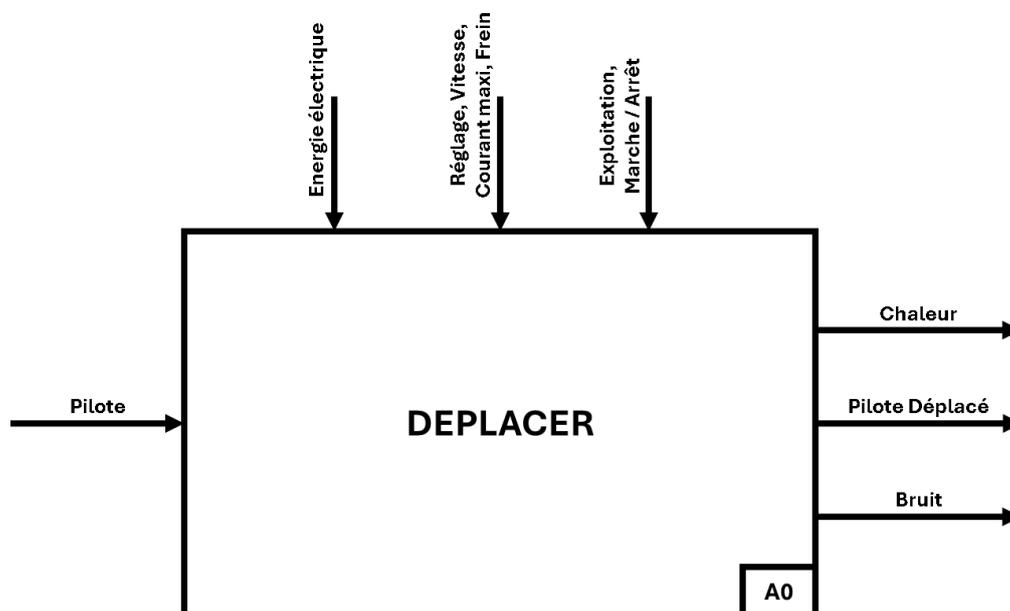
Le but de cette partie est de décrire le matériel, et la conception, utilisé pour le prototype.

5.1 Analyse fonctionnelle

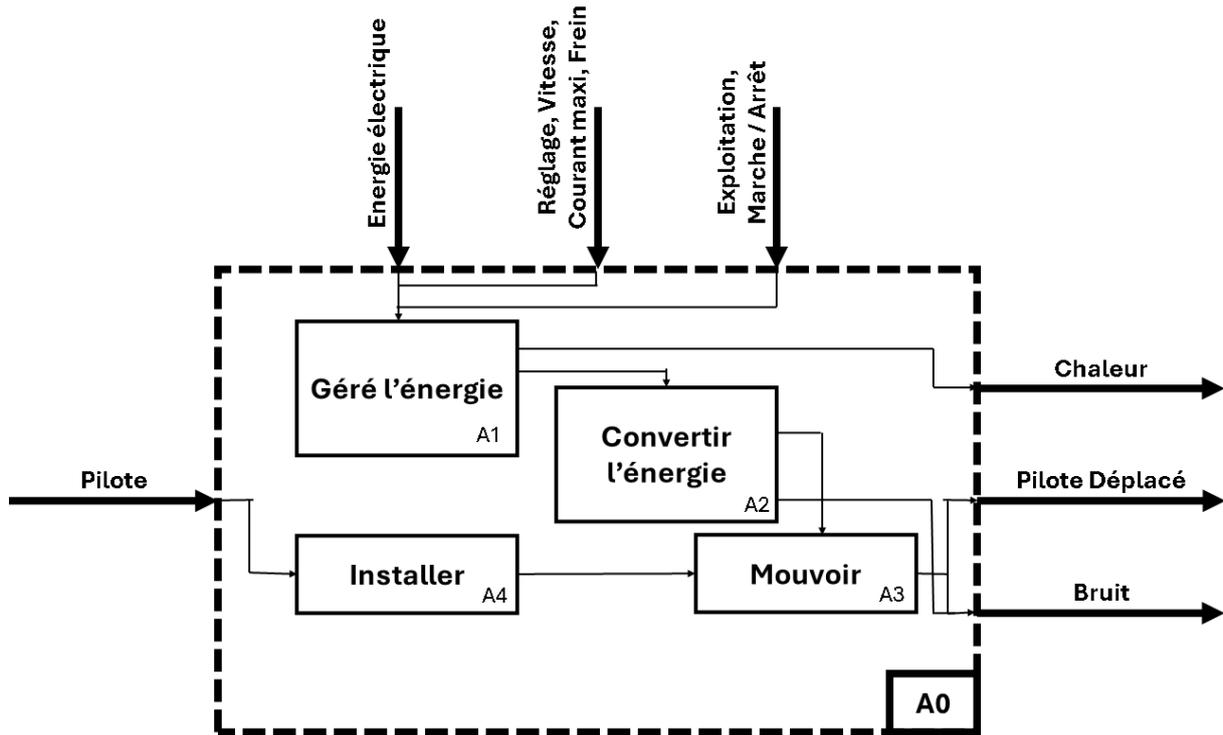
5.1.1 SADT

La SADT est une méthodologie de modélisation systémique pour l'analyse et la conception de systèmes, axée sur la représentation hiérarchique et fonctionnelle des processus.

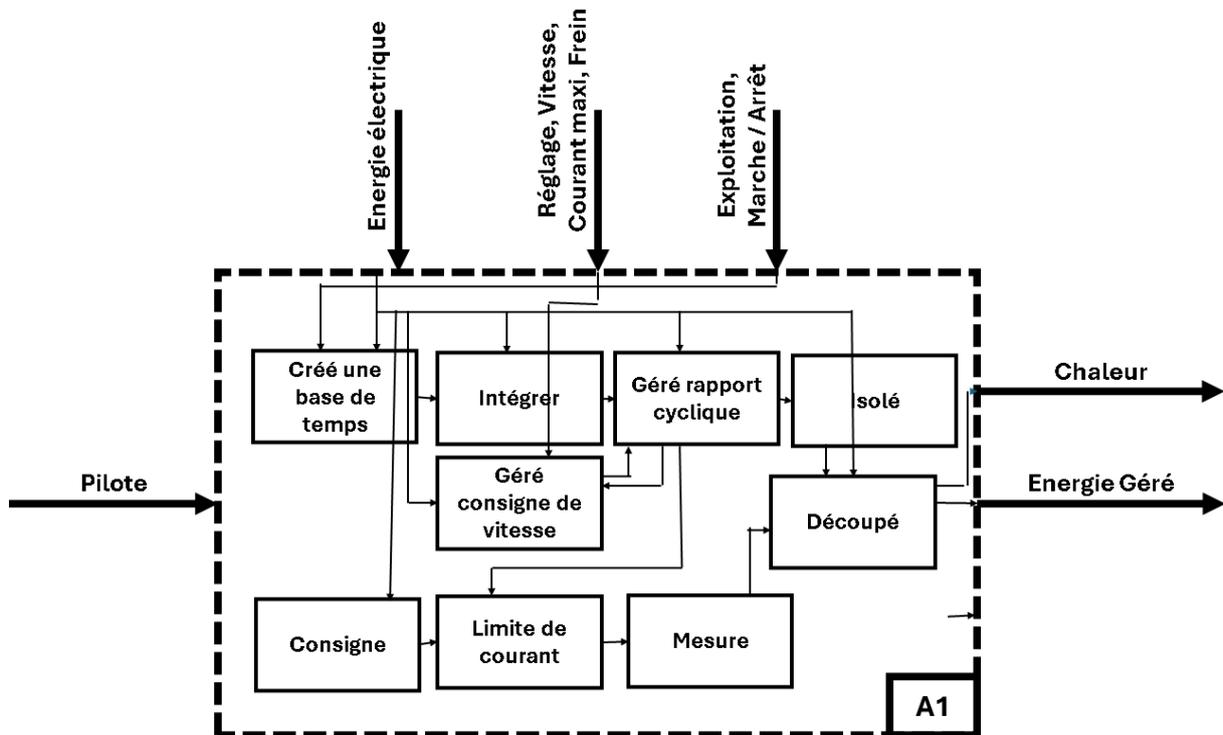
5.1.1.1 Niveau 0



5.1.1.2 Niveau 1



5.1.1.3 Niveau 2



5.2 Nomenclature

Voici la liste des composants du système :

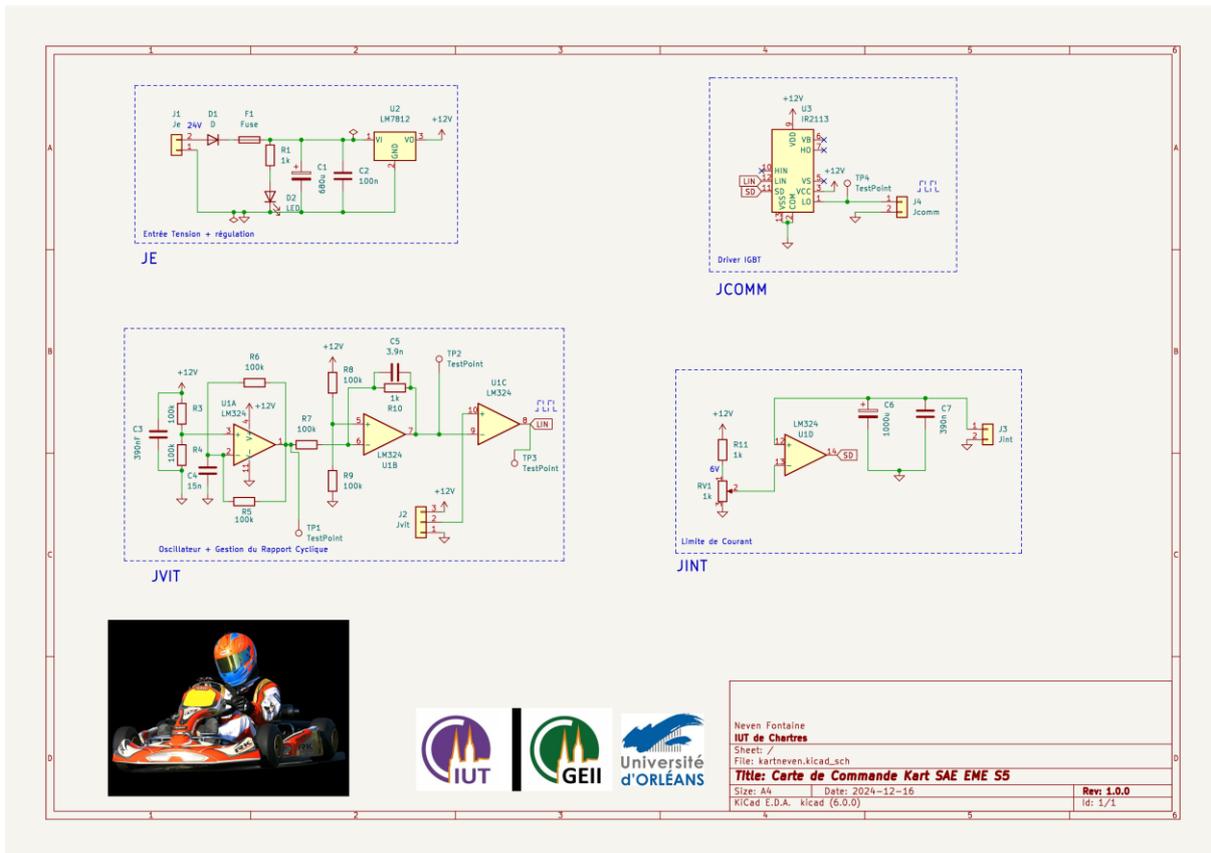
Matériel	Valeurs	Quantité	Prix
C1	680uF	1	0,5
C2	100nF	1	0,1
C3	390nF	1	0,2
C4	15nF	1	0,15
C5	3,9nF	1	0,12
C6	1000uF	1	0,8
C7	390nF	1	0,25
D1	D	1	0,05
D2	LED	1	0,3
F1	Fusible	1	0,6
J1	Je	1	1
J2	Jvit	1	1
J3	Jint	1	1
J4	Jcomm	1	1
R1,R10,R11,RV1	1k	4	0,4
R3,R4,R5,R6,R7,R8,R9	100k	7	0,7
TP1,TP2,TP3,TP4	Point de touche	4	0,5
U1	LM324	1	1,5
U2	LM7812	1	1
U3	IR2113	1	2,5
Total	N/A	N/A	16.22 €

5.2.1 Description des composants

Matériel	Description
C1	Condensateur destiné à lisser les variations de tension.
C2	Condensateur utilisé pour découpler les bruits haute fréquence.
C3	Condensateur utilisé pour le couplage de signaux dans des circuits analogiques.
C4	Condensateur adapté pour des filtres passe-haut ou oscillateurs haute fréquence.
C5	Condensateur pour des applications spécifiques nécessitant une stabilité accrue.
C6	Condensateur de haute capacité pour le stockage et la stabilisation d'énergie.
C7	Condensateur destiné à filtrer les parasites dans des signaux analogiques.
D1	Diode pour protéger le circuit contre les surtensions ou les inversions de polarité.
D2	LED utilisée pour indiquer l'état de fonctionnement du circuit.
F1	Fusible pour interrompre le circuit en cas de surcharge.
J1	Connecteur permettant l'entrée de tension pour alimenter le circuit.
J2	Connecteur pour relier des équipements au circuit principal.
J3	Connecteur interne dédié aux mesures et à la gestion de courant.

J4	Connecteur pour la communication de signaux numériques.
R1	Résistance utilisée pour limiter le courant dans le circuit.
R10	Résistance connectée pour réguler les signaux.
R11	Résistance utilisée pour ajuster le gain des amplificateurs.
RV1	Résistance variable pour ajuster les seuils de détection dans le circuit.
R3	Résistance configurant la réponse de l'oscillateur.
R4	Résistance pour équilibrer le circuit et stabiliser le gain.
R5	Résistance pour ajuster la réponse des amplificateurs.
R6	Résistance pour configurer les caractéristiques de l'oscillateur.
R7	Résistance permettant de limiter le courant dans une section du circuit.
R8	Résistance pour ajuster la tension de sortie des amplificateurs.
R9	Résistance de précision utilisée pour la mesure de courant.
TP1	Point de test pour vérifier les signaux en entrée.
TP2	Point de test permettant d'analyser le signal oscillant.
TP3	Point de test pour contrôler les signaux amplifiés.
TP4	Point de test pour diagnostiquer la sortie de commande des transistors.
U1A	Section de l'amplificateur LM324 pour amplifier les signaux d'entrée.
U1B	Étage d'amplification pour traiter les signaux oscillants.
U1C	Étape pour ajuster les caractéristiques des signaux dans les filtres.
U1D	Dernier étage de l'amplificateur pour la détection de courants.
U2	Régulateur fournissant une sortie stabilisée de +12 V.
U3	Driver utilisé pour piloter des transistors de puissance.

5.3 Schéma électrique



6. Conclusion

En conclusion, ce projet autour du kart électrique nous a permis de mettre en pratique les connaissances acquises au cours de notre formation, tout en développant de nouvelles compétences. La conception et le développement de la carte de commande, ainsi que les calculs théoriques pour optimiser les performances du système, ont été des étapes clés. Grâce à un travail méthodique et collaboratif, nous avons atteint les objectifs fixés, notamment la réalisation d'un kart performant, capable d'atteindre une vitesse de 60 km/h dans les conditions définies par le cahier des charges.

Ce projet fut une expérience enrichissante tant sur le plan technique que personnel, et il a permis de nous préparer à relever des défis complexes dans un cadre professionnel.

7. Abréviation

Abréviation	Définition
SADT	Structured Analysis and Design Technique
Cx	Coefficient aérodynamique
IGBT	Insulated Gate Bipolar Transistor