

Génie électrique**1^{ère} TSI 1****Devoir Surveillé : N°1**

- ♦ Dans le cas où un(e) étudiant(e) repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il (elle) le signale très lisiblement sur sa copie, propose la correction et poursuit l'épreuve en conséquence.
- ♦ L'usage de tout ouvrage de référence, de tout dictionnaire est rigoureusement interdit.
- ♦ Il est rappelé aux candidats que la qualité de la rédaction, la clarté et la précision des explications entreront pour une part importante dans l'appréciation des copies.

Systeme à étudier :**FlyLine**

Le sujet comporte trois parties indépendantes

- **Partie A** : Déplacement radiocommandé du chariot mobile
- **Partie B** : Motorisation de chariot mobile
- **Partie C** : Etude de La carte de puissance

I. Présentation du système

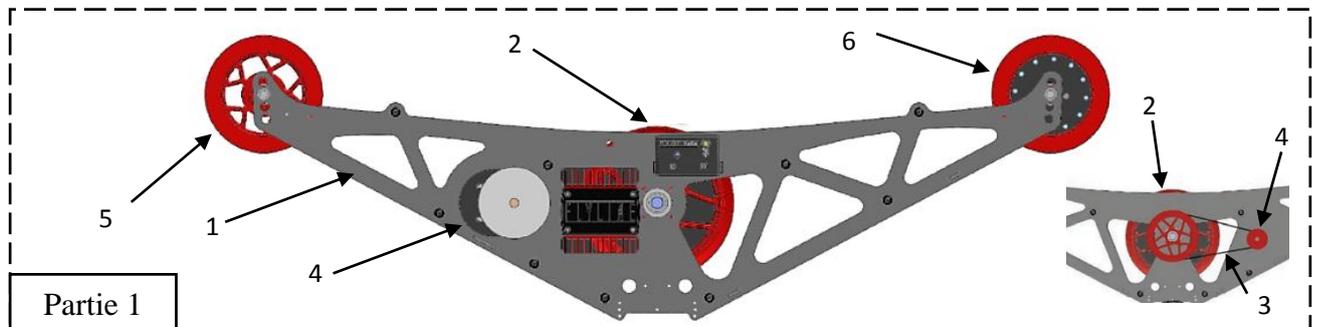
Qatar a obtenu l'organisation de **coup du monde 2022**. Lors de sa candidature, la chaîne **Bein Sports** a mis en avance sa capacité à diffuser tous les évènements organisés. La mise en scène des compétitions s'appuiera donc sur la mise en œuvre de matériels évolués notamment dans le domaine de l'audio-visuel.



Ainsi, pour permettre aux téléspectateurs et internautes de vivre au plus près l'action, les sociétés de production et d'événementiel utilisent des **caméras embarquées** dont le déplacement et le **pilotage peuvent être réalisés à distance**. En effet, les prises de vues en hauteur sont plébiscitées par les spectateurs qui, par des angles de vue originaux, se retrouvent au cœur du spectacle et vivent des sensations de vitesse et d'immersion complète.

Un des systèmes utilisés est basé sur la mise en œuvre d'un travelling sur câble. **Une slackline** d'une longueur pouvant aller jusqu'à **500 m** est tendue entre deux points. Un châssis robotisé équipé d'une nacelle 3 axes permet, via une radiocommande ou un smartphone, de déplacer à la fois la caméra très rapidement le long de la corde (jusqu'à **45km/h**) mais également de la stabiliser pour réaliser des prises de vue à **360°**.

Ce système est constitué de deux parties indépendantes dans leur pilotage : **chariot mobile** (partie 1 à étudier par la suite) **voir annexe 2** et stabilisateur de la caméra (partie 2 n'est pas présentée ici) lors de son déplacement pour les prises de vue ;



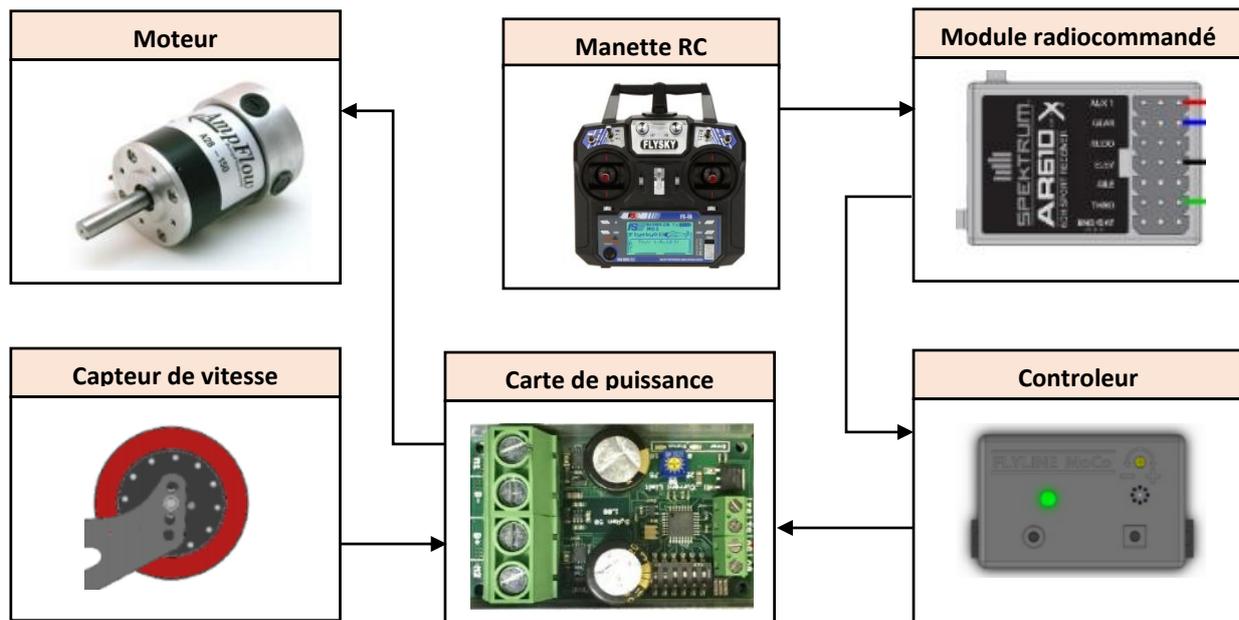
La première partie, pilotée via une manette radio communication, permet le déplacement linéaire sur la slackline et se présente de la manière suivante :

- Un châssis métallique en aluminium sur lequel prennent appui les différents composants (1),
- Une roue motrice (2) actionnée par une transmission à courroie (3) et un moteur à courant continu (4) équipé d'un encodeur,
- Deux roues libres (5) dont l'une est équipée d'un capteur de rotation(6) avec mise en forme,
- une carte à microcontrôleur pour le pilotage du moteur conformément aux informations fournies par une radiocommande ou un smartphone,

- Une carte de puissance pour la commande du moteur
- une batterie permettant de fournir, selon le constructeur, une autonomie de déplacement de 7 km à l'ensemble.

Le déplacement du chariot mobile est piloté via une manette radio-communicante. Son signal est réceptionné par le module radiocommandé qui le transmet au contrôleur. Le contrôleur, après avoir pris en compte les informations issues du capteur de rotation, commande le moteur via la carte de puissance.

Le fonctionnement du chariot mobile est transcrit dans le diagramme de contexte suivant :



I. Déplacement radiocommandé du chariot mobile.

*On s'intéresse ici au chariot mobile lorsque le chariot se déplace linéairement sur la slackline. L'étude du comportement dynamique du système nous amène à chercher **les temps d'accélération et décélération**, afin de trouver la **force motrice F_r** que doit produire le chariot pendant l'accélération pour vaincre l'inertie et la force résistante.*

Les figures 1 et 2 représentent les dimensions des terrains de largeur **100 m** et de hauteur **50 m**.

Considérant que la caméra fait des allers retours sur la slackline entre le point A et point B de distance

D.

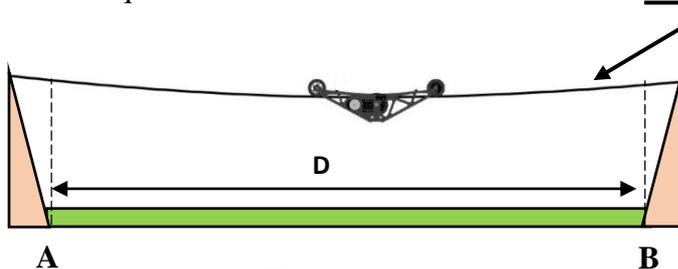


Figure 1

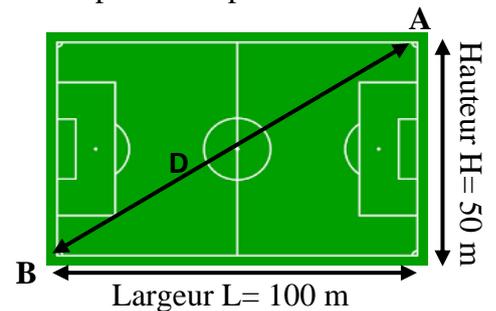


Figure 2

Le profil de vitesse du chariot mobile est représenté dans la figure 3 :

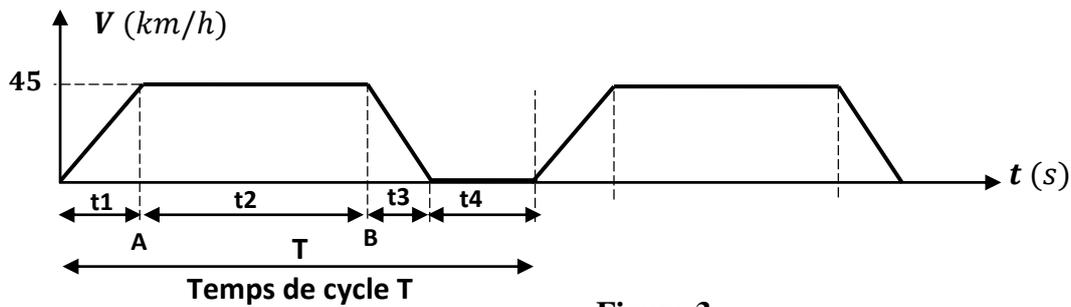


Figure 3

Le déplacement du chariot mobile comprend :

- Une phase d'accélération d'une durée $t_1 = 14s$,
- Un déplacement à vitesse constante durant t_2 sur une distance de longueur D .
- Une phase de décélération d'une durée $t_3 = 12,5s$,
- Un arrêt au voisinage du point A ou B d'une durée $t_4 = 20s$.

La chaîne de puissance mécanique comprend une roue motrice de diamètre extérieur D_{ex} et diamètre intérieur D_{in} , elle est actionnée par une transmission à courroie et un **moteur à courant continu MCC** relié à une **roue de diamètre D_m** .

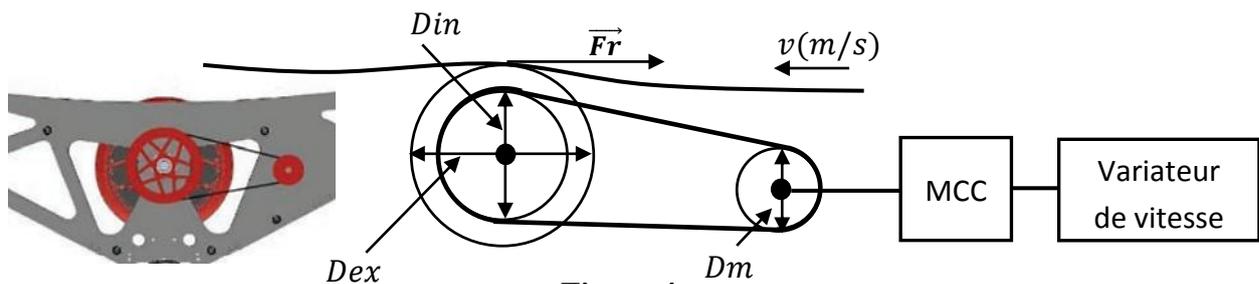


Figure 4

La masse de l'ensemble M (chariot + caméra) présente une force résistante F_r selon la phase de fonctionnement :

- Phase d'accélération : $F_r = ac.M + M.g.Cda$
- Phase de décélération : $F_r = ad.M + M.g.Cda$

Avec $ac = dv/dt$ est l'accélération en m/s^2 , ad est la décélération en m/s^2 , M la masse totale (chariot + caméra) en **Kg**, g est la pesanteur égale **9.81** en **N/Kg** et Cds est le **coefficient dynamique d'adhérence** qui dépend de la vitesse de déplacement sachant que **la slackline et roue motrice sont en acier** (voir l'annexe).

Q1- calculer le temps de cycle T . pour cela, exprimer puis calculer successivement :

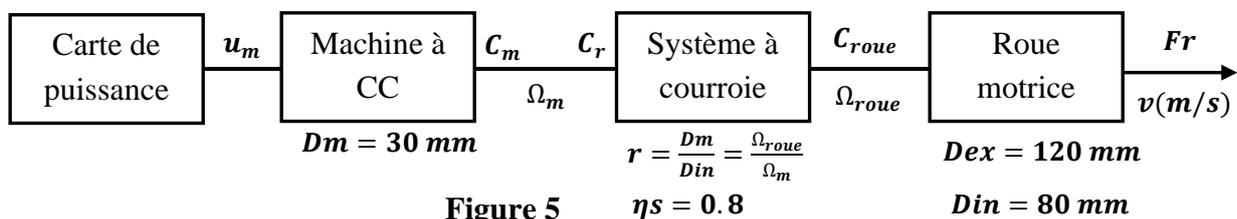
- Calculer D , la distance en fonction de la hauteur H et la largeur L .
- Déterminer la vitesse du chariot en m/s à partir du profil de vitesse entre A et B.
- Calculer le temps t_2 parcourue par le chariot pour une vitesse constante.

Q2- Calculer l'accélération (**ac**) puis la décélération (**ad**) en m/s² (figure 3).

Q3- Quelle est la phase où pourrait-il y avoir récupération de la puissance mécanique ?

Q4- en utilisant la documentation technique du système **Annexe 1**. Déterminer la masse totale **M** inclus la masse du chariot et caméra. Une fois la masse est déterminée, calculer la force motrice **Fr** que doit produire le chariot pendant l'accélération pour vaincre l'inertie et la force résistante en régime permanent.

On s'intéresse maintenant à la phase permanent **t2** où le chariot se déplace avec une vitesse **v=45 km/h**. en effet, le déplacement est réalisé à travers la roue motrice (voir figure 4) qui est entraînée par une machine à courant continu. La transmission de puissance réalisée par système à courroie. Le synoptique suivant explique la chaîne de transmission.



Q5- Calculer le couple C_{roue} présenté à l'arbre de roue motrice en fonction Fr et diamètre de la roue. Puis calculer le couple résistant C_r à l'arbre moteur en fonction C_{roue} , $\frac{Dm}{Din}$ et η_s . En appliquant le principe fondamental de la dynamique, déduire la valeur du couple moteur **Cm** dans la phase permanent **t2** (prendre $Fr = 57.5 \text{ Nm}$).

II. Motorisation de chariot mobile

On s'intéresse ici au calcul énergétique de la machine à courant continu qui fait le déplacement de l'ensemble et ainsi en vérifiant la capacité de batterie qui doit assurer une autonomie de $\Delta t = 100 \text{ min}$ (90 min + 10 min Temps supplémentaire)

Le chariot mobile est entraîné par une machine à courant continu à aimant permanent de référence **A28-150** qui présente les informations suivantes :

Grandeurs	Valeurs
Tension d'induit nominal U_n	24 V
La résistance d'induit R :	0.25 Ω
Le courant d'induit nominal I_n :	5.25 A
La vitesse de rotation nominale N_m en tr/min :	1500 tr/min
Couple de frottement sec C_{sec} :	20.3 10^{-3} N/m
Coefficient de frottement visqueux f :	0.1955 10^{-3} N.m.s/rad

Le modèle de la machine à courant continu est représenté dans la **figure 6**, qui constitue d'une force électromotrice E , une résistance d'induit R et une inductance d'induit L .

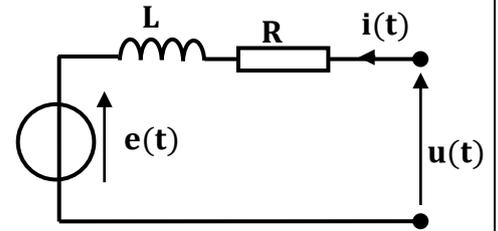


Figure 6

On rappelle les quatre relations de la machine à courant continu :

- $u(t) = R \cdot i(t) + L \frac{di(t)}{dt} + e(t)$
- $e(t) = K_e \cdot \Omega m(t)$
- $C_e m(t) = K_c \cdot i(t)$
- $J \frac{d\Omega m(t)}{dt} = C_m(t) - C_r(t) - f \cdot \Omega m(t)$

Le couple de pertes C_p dans la machine à courant continu due au couple frottement sec C_{sec} et le couple visqueux C_{vq} : $C_p = C_{sec} + f \cdot \Omega m = P_c / \Omega m$ où P_c est la puissance des pertes collectives.

Le contrôleur de vitesse de la machine à courant continu est alimenté par une batterie de capacité $C_{Batterie} = 12.14 Ah$. Cette capacité s'exprime par la relation suivante : $C_{Batterie} = I_b \cdot \Delta t$ avec I est le courant total fourni au moteur I et les cartes de commande du chariot I_c tel que $I_b = I + I_c$ et Δt est l'autonomie de la batterie en heure.

1- Etude énergétique :

On s'intéresse dans cette partie au régime permanent au le courant d'induit est constant $i(t) = I_n$ et ainsi à la vitesse est constante $\Omega m(t) = \Omega m_n$

Q6- On vous demande de tracer le schéma équivalent de la MCC pour ce régime. Supposons que $K_e = K_c = K$, donner à nouveau les expressions des quatre relations. A partir des relations trouvées exprimer puis tracer la caractéristique $\Omega m = f(I)$.

Q7- Calculer le couple des pertes collective C_p (pertes fer + pertes mécaniques) à la vitesse nominal $N=1500$ tr/min. et déduire la valeur de la puissance collective P_c . Calculer les pertes joules d'induit P_{ji} .

Q8- Calculer la puissance absorbée par la machine au point nominal P_{an} puis la puissance utile P_{un} de la machine. Exprimer puis calculer le rendement de la machine et ainsi le couple utile C_u , couple électromagnétique C_{em} et le couple des pertes C_p . A vide la machine absorbe un courant I_o , montrer que : $C_u = K(I - I_o)$

2- Autonomie de la batterie

Sachant que la batterie fournit un courant totale I_b qui présente le courant du moteur M_{cc} et un courant constant I_c qui dirige vers les carte de commande égal $I_c=0.35A$.

Q9- Calculer le courant total fourni par la batterie I_b et déduire l'autonomie de la batterie Δt .
Conclure sur la disponibilité de ce chariot durant un match de football (pendant $\Delta t = 100$ min)

III. Etude de la carte de puissance

Valider le choix du moteur au regard des formes d'ondes issues du variateur de vitesse. Pour cela, une analyse des formes d'ondes du variateur permet de quantifier le facteur de forme, paramètre influant sur l'échauffement du moteur.

Le schéma structurel de la carte de puissance (Voir annexe 2) est représenté figure 7.

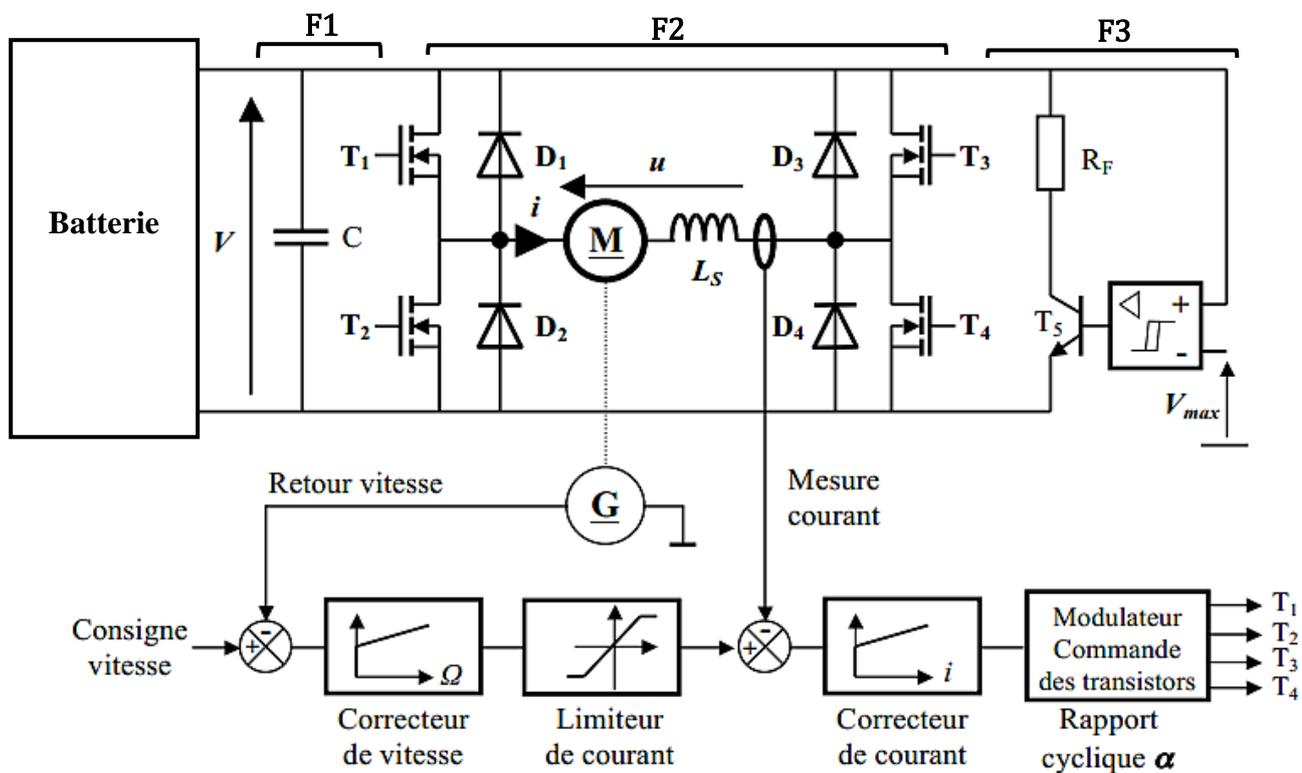


Figure7

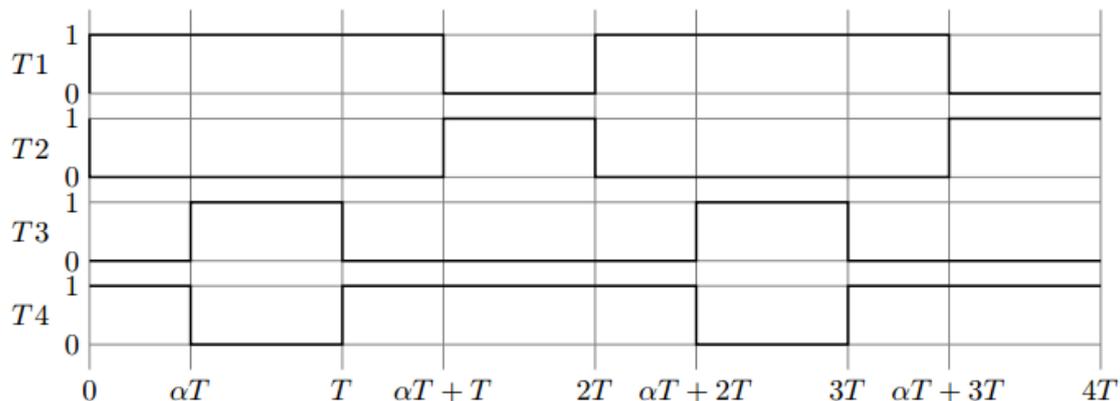


Figure 8

Lors du fonctionnement dans le quadrant 1 du plan vitesse en fonction du couple, la commande des transistors est faite selon la séquence donnée figure 8 où $T = \frac{1}{20000} \text{ s}$ est la période de découpage et $\alpha \in [0, 1]$ le rapport cyclique

La constante de temps du circuit d'induit du moteur ((inductance du moteur $L_s + L_i$) / résistance du circuit d'induit) étant élevée devant la période de découpage, on peut négliger $Ri(t)$ devant $L \frac{di(t)}{dt}$.

Le schéma équivalent en sortie du hacheur est représenté figure 9, où E est la force électromotrice du moteur, considérée constante pour les trois questions suivantes, L est la somme de l'inductance du moteur et de l'inductance de lissage L_s .

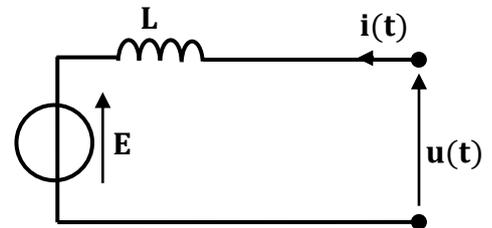


Figure 9

Q9- Définir les fonctions **F1**, **F2** et **F3** en rappelant le rôle de chacune. Représenter les chronogrammes de $u(t)$ et de $i(t)$ en supposant $0 < I_{min} < i(t) < I_{max}$ et en prenant $\alpha = 0,5$. Indiquer sur le chronogramme les composants par lesquels passe effectivement le courant. L'ondulation de courant est définie par $\Delta i = I_{max} - I_{min}$.

Q10- Exprimer Δi_{max} , la valeur maximale de l'ondulation du courant. Pour cela, exprimer successivement :

- $i(t)$ pour $0 < t < \alpha T$ en fonction V, E, L, t et I_{min} .
- Δi en fonction V, E, L et αT .
- E en fonction V et α sachant que $i(t)$ est périodique.
- Δi en fonction V, L, α et f .
- Δi_{max} en fonction V, L et f .

Le calcul précédent montre que cette ondulation est maximale pour $\alpha = 0,5$. Le constructeur du variateur recommande la mise en série d'une inductance de **1 mH**, ce qui conduit à une ondulation de courant Δi_{max} de **0,4 A**. Celui du moteur recommande d'avoir un facteur de forme **F** (valeur efficace / valeur moyenne) inférieur à **1,02** pour éviter de déclasser le moteur.

Q11- Exprimer i_{eff} , la valeur efficace de $i(t)$, en fonction de I_m , la valeur moyenne du courant $i(t)$ et de l'ondulation de courant Δi_{max} . Calculer ensuite **F** pour $I_m = 5,25 \text{ A}$. Conclure quant à la nécessité éventuelle de déclassement du moteur.

Fin d'épreuve

ANNEXE 1

Caractéristique flyline

Large trees and scaffolding and light poles or other firmly fixed objects can be used to anchor to provided the objects can withstand 300-1,500lb of pulling tension at the rope connection point (depending on cable length). The longer the cable length the higher the tension on the cable must be. At a length of 150m it should be tensioned up to 1500lb. Of course it is REQUIRED that a qualified rigger calculate the cable and attachment loads and rig as required.

Specifications

- Size: 100 x 85 x 25 cm (Including Ronin-M gimbal)
- Weight: 7kg (with battery and gyro – without camera)
- Max. camera weight: 8kg
- Max. speed: 60kph (40mph)
- Max. cable slope: 20% grade (12 degrees)
- Operating voltage: 12-25vdc
- Max amps: 50A
- Regenerative braking: Yes
- Motion Control with auto end stop braking: Optional
- Gyro stabilized: Optional



Cable Setup

To operate the FlyLine you must first run a length of cable between two anchor points. As previously mentioned, be sure the anchor points are sufficient strength to support the tensioned cable. To tension the cable between two fixed points like trees or similar you can use a 4 ton manually operated winch as shown to the right.



Coefficient dynamique d'adhérence

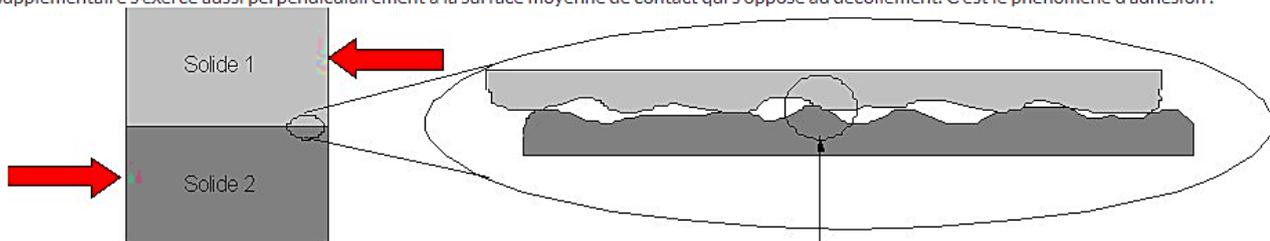
De quoi s'agit-il?

La tribologie (en grec tribein = frotter) est la science du frottement. Regardons d'abord quelques termes d'usage courant.

L'adhérence

Le **frottement** (on parle également de friction) est le phénomène qui fait que des forces tendent à s'opposer au glissement d'un solide posé à plat sur un autre. On parlera aussi de frottement statique, puisqu'il n'y a pas eu de déplacement des surfaces en présence.

Lors du contact initial, des effets de la rugosité des faces en présence créent l'adhérence qui rend compte de la résistance qui empêche le déplacement relatif. Au niveau microscopique, des forces de liaison chimique sont créées entre les atomes des deux surfaces des solides en regard. En plus du poids, une force supplémentaire s'exerce aussi perpendiculairement à la surface moyenne de contact qui s'oppose au décollement. C'est le phénomène d'adhésion.



Explication de l'adhérence par rugosité, et pénétration des solides l'un dans l'autre. Le cercle ci-dessus signalé par une flèche noire entoure une rugosité de surface (défauts microscopiques sur la surface des solides).

Considérons un livre sur une surface inclinée. Il est possible de caractériser son adhérence.

Si l'angle α est assez petit, la capacité d'adhérence entre le livre et le support est suffisante pour éviter que le livre ne glisse. Par contre, si α devient trop grand, la composante tangentielle au contact de la gravité devient trop importante, et la force d'adhérence n'est plus suffisante pour empêcher le mouvement. Le livre se met alors à bouger.

La valeur limite de l'angle α au delà duquel le livre se met à glisser caractérise le coefficient d'adhérence égal à $\tan \alpha$.

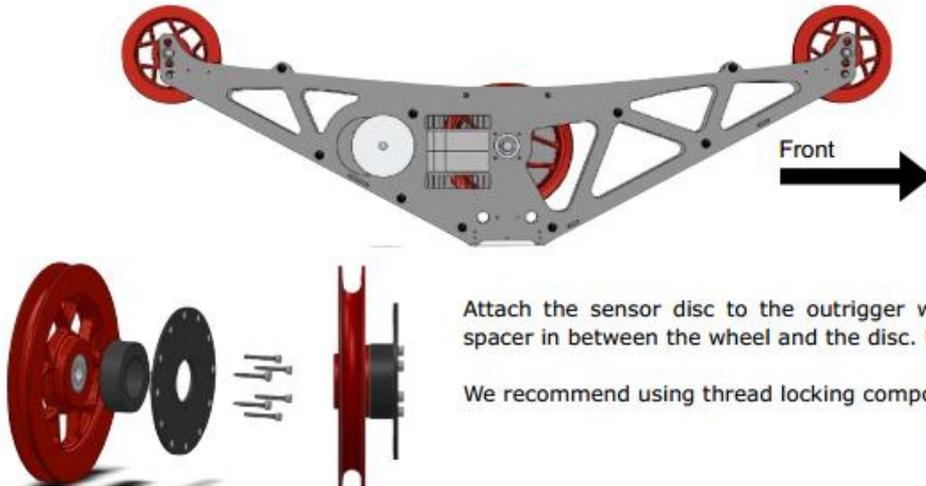
Nature des matériaux en contact	Coefficient d'adhérence
pneu/bitume	1
acier/acier	0,3
acier/glace	0,05

ANNEXE 2

1. MOCO MODULE INSTALLATION

1.1 Mount Sensor Disc to Front Outrigger Wheel

If looking at the FlyLine trolley with the motor controller and end of the motor facing you, the front of the trolley is to your right.



Attach the sensor disc to the outrigger wheel. Place the spacer in between the wheel and the disc. Use 3x22 screws.

We recommend using thread locking compound like Loctite.

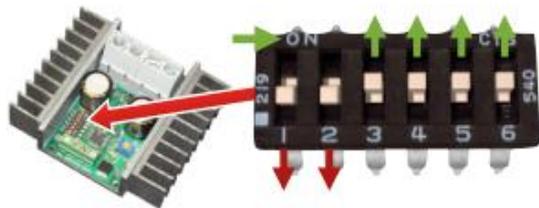
2. MOTOR CONTROLLER SETUP

2.1 - DIP SWITCH ASSIGNMENTS

In order for the MoCo unit to operate properly it is important that the motor controller DIP switches be configured.

The DIP switches on the motor controller circuit board MUST be configured with switches 1 & 2 in the 'OFF' position and switches 3, 4, 5, 6 in the 'ON' position as shown below.

Look for the 'ON' printed on the DIP switch block above switches 1 & 2. Switches flipped towards this direction are 'ON'.



2.2 - CURRENT LIMITER ADJUSTMENT

Locate the current limiter adjustment potentiometer on the motor controller. It is blue with a yellow adjustment screw in the middle.

Set the adjustment screw to 50% by rotating it so the arrow portion of the screw points to the '50' on the motor controller circuit board.

