Concours Centrale-Supélec, France

# Session 2003, filière TSI

## Sciences industrielles 2

### Ce que traite le sujet

- Partie I : analyse du système existant
- Partie II : étude du capteur de vitesse
- Partie III : asservissement

**Sujet reproduit sans retouche à partir de la page suivante.**

Résumé des parties, chapitres de cours liés et autres années :
prepahelp.com/annales/centrale/tsi/2003/si2

Prepa Help ne revendique aucun droit sur le sujet, propriété de l'organisateur du concours.

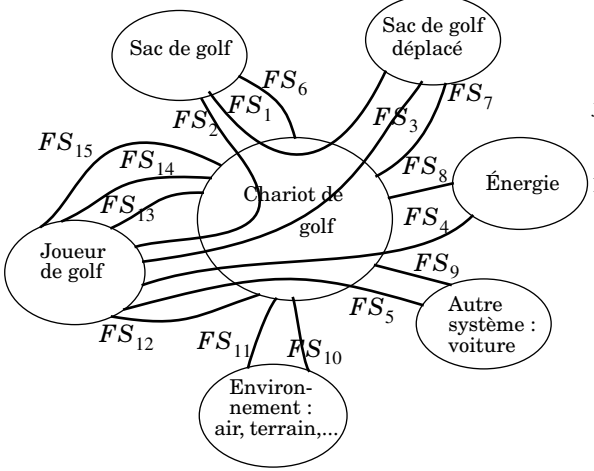
# SCIENCES INDUSTRIELLES II

## *Étude d'un chariot de golf électrique*

Le chariot de golf électrique est un véhicule permettant de transporter, lors d'un parcours de golf, le matériel nécessaire au jeu dont la masse peut atteindre 20 kg .

Les différentes fonctions de service que doit assurer le chariot sont présentées dans le diagramme de la figure 1.

**Figure 1** : Diagramme des interacteurs




$FS_1$ : transporter un sac de golf

$FS_2$ : permettre la mise en place du sac

$FS_3$ : permettre le retrait du sac

$FS_4$ : ne présenter aucun risque pour le joueur

$FS_5$ :être mis en place dans la voiture par le joueur

$FS_6$ : s'adapter à la forme du sac

$FS_7$ : maintenir le sac

$FS_8$ : s'adapter au réseau d'énergie

$FS_9$ : s'adapter à la forme du coffre

$FS_{10}$ : résister à l'environnement

$FS_{11}$ : s'adapter à la nature du terrain

$FS_{12}$ : être commandé par le joueur

$FS_{13}$ : être orienté par le joueur

$FS_{14}$ : être reculé par le joueur

$FS_{15}$ : permettre à l'assise du joueur

### *Fonctionnement du système*

L'utilisateur :

- connecte la batterie (seulement pour la première utilisation) ;
- place son sac de golf sur le chariot et l'attache ;

# Filière TSI

- appuie sur le bouton poussoir «Marche Arrêt» de la poignée (et le maintient appuyé). À cet instant :
  - un bip sonore est émis pour l'informer de l'état de charge de la batterie ;
  - le chariot démarre (un seul sens de déplacement) ;
- adapte la vitesse du chariot à l'aide d'un potentiomètre ;
- dirige le chariot à la main ;
- relâche le bouton poussoir «Marche Arrêt» pour arrêter le chariot ;
- peut reculer à la main le chariot (moteur à l'arrêt).

***Solutions techniques adoptées***

Le chariot est représenté en annexe 1.

La motorisation du chariot est assurée par un moto réducteur (réducteur roue et vis sans fin) à courant continu.

L'orientation $(FS_{13})$ est permise par des roues libres qui sont placées entre les roues et l'arbre de sortie du réducteur.

Le recul du chariot $(FS_{14})$ impose que le réducteur à roue et vis sans fin soit réversible.

Le moto réducteur est alimenté par un variateur de type hacheur série. Une batterie $12\ \text{V}, 25\ \text{Ah}$ assure l'alimentation en énergie du hacheur. La poignée de commande du chariot intègre le potentiomètre de réglage de vitesse et le bouton poussoir «Marche Arrêt». Le potentiomètre fournit la commande du rapport cyclique du hacheur.

La partie commande est gérée par un microcontrôleur PIC 16C71. Un circuit spécialisé TC428 assure la commande des transistors du hacheur à partir du signal généré par le microcontrôleur (voir figure 2).

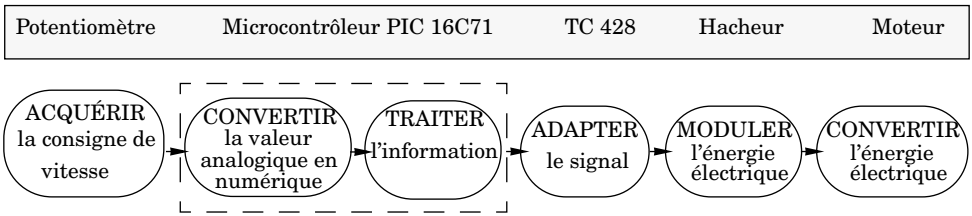



**Figure 2** : Chaîne de commande de la vitesse

Lors de l'appui sur le bouton «Marche Arrêt», le microcontrôleur de la PC :

a) Teste le taux de charge de la batterie et en informe le golfeur par des signaux sonores émis par un buzzer situé dans la poignée.

b) Vient lire la tension délivrée par le potentiomètre de réglage vitesse situé sur la poignée.

c) Convertit cette valeur de commande en valeur numérique.

d) Incrémente progressivement la commande tension moteur réalisant ainsi une rampe de démarrage.

- Le moteur démarre et accélère progressivement jusqu'à la vitesse demandée.
- Ensuite, la vitesse du moteur se stabilise, augmente ou diminue suivant les commandes successives transmises par le golfeur tant qu'un arrêt n'est pas demandé.

Lors d'un arrêt demandé, le micro contrôleur enregistre la valeur numérique de la dernière commande de vitesse et génère le signal d'arrêt du moteur.

Lors d'une nouvelle action sur le bouton poussoir «Marche Arrêt», le cycle de traitement de l'information (étapes a à d) recommence.

***Objet de l'étude :***

Dans la forme actuelle du chariot, le réglage de vitesse se fait en réglant le rapport cyclique du hacheur, donc la tension du moteur. La vitesse du chariot dépend donc de la charge de celui-ci, de la pente du terrain, de l'état de ce dernier (boueux, sec). On se propose d'asservir la vitesse du chariot à la tension délivrée par le potentiomètre pour éviter cet effet. D'autre part, afin de contrôler le courant dans le moteur, on envisage la réalisation d'une boucle interne de courant dans la boucle vitesse principale. Cette boucle permettra de limiter le courant d'induit, donc le couple moteur en cas de blocage du chariot et pourra remplacer la rampe de démarrage.

L'asservissement de la vitesse du chariot nécessite l'installation d'un capteur. On peut alors profiter des informations de ce capteur pour réaliser un affichage de la distance parcourue (hors du cadre de cette étude). Cet accessoire est particulièrement intéressant car il permet de mesurer la longueur du premier coup (drive) et évaluer ainsi les performances du golfeur.

L'étude de ces évolutions nécessite un travail préalable d'appropriation du système qui constitue la première partie de ce sujet.

# *Partie I - Analyse du système existant*

## I.A - Étude des solutions constructives adoptées

I.A.1) Réducteur à roue et vis.

Nommer les grandeurs sur lesquelles il faut intervenir pour que le réducteur à roue et vis sans fin soit réversible. Quelles relations éventuelles faut il imposer à ces grandeurs. Proposer un couple de matériaux pour la roue et la vis du réducteur compte tenu de la faible puissance à transmettre ( 120 w ).

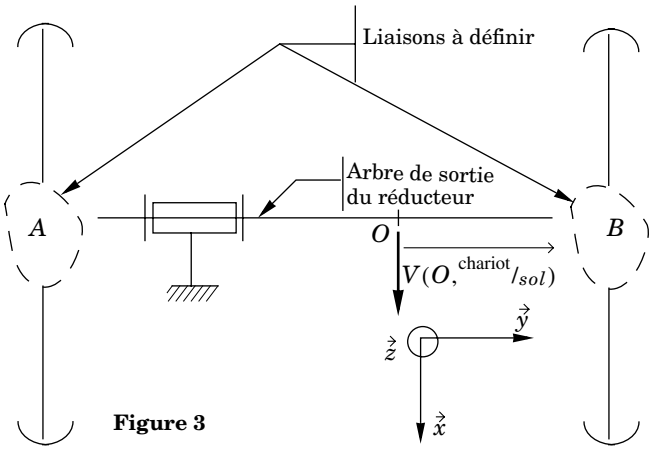



**Figure 3**

I.A.2) Orientation du chariot.

L'utilisateur souhaite effectuer une rotation du chariot autour de l'axe $(O, \vec{z})$. $\vec{z}$ est vertical ascendant.

Cette rotation d'angle $\theta(\theta > 0)$ est rendue possible par la présence des roues libres.

L'arbre de sortie du réducteur est une barre cylindrique en acier de diamètre 12 mm et de longueur 430 mm . Un extrait de documentation de la roue libre est donné en annexe 2. Une vue extérieure et le dessin d'ensemble éclaté sont donnés en annexe 1.

Pour cette phase de fonctionnement, définir les liaisons souhaitées en A et B traduisant le comportement de chaque roue libre.

Proposer, sur une feuille de copie, un dessin à l'échelle 1:1 de la solution constructive montrant l'implantation de la roue libre dans la roue ainsi que la liaison de la roue avec l'arbre de sortie du réducteur. La roue sera représentée partiellement.

### I.B - Détermination des paramètres du moteur

Le moteur utilisé est un moteur à courant continu à aimants permanents de tension nominale $12\ \text{V}$. La réaction magnétique d'induit est négligée. Il est associé à un réducteur de rapport $k = 25$ ($k = \dfrac{\text{vitesse angulaire moteur}}{\text{vitesse angulaire roues}}$).

| $N$ (en tr/min) | $I$ (en A) | $Cu$ (en mN · m) |
|---|---|---|
| 3976 | 1, 6 | 21 |
| 3858 | 3, 1 | 66 |
| 3736 | 4, 8 | 111 |
| 3595 | 6, 6 | 164 |
| 3483 | 8, 1 | 205 |
| 3366 | 9, 7 | 249 |
| 3245 | 11, 3 | 294 |
| 3105 | 13, 2 | 347 |
| 2984 | 14, 8 | 392 |
| 2857 | 16, 5 | 439 |

**Figure 4** : Essai en charge du moteur sous tension d'induit $U = 12\ \text{V}$.

L'arbre de sortie du réducteur est l'axe des roues motrices qui ont un diamètre (noté $d$) de $300\ \text{mm}$.

La documentation technique du chariot contient un tableau de mesures d'un essai en charge du moteur sans le réducteur, à tension d'induit constante. Ce tableau est reproduit figure 4.

I.B.1)Résistance et coefficient de fem.

Déterminer à partir de ce tableau la résistance de l'induit ($R_a$) le coefficient de fem $\lambda$ (donné en $\text{V/rad} \cdot \text{s}^{-1}$).

I.B.2 Couple de pertes.

Montrer que le couple de pertes est sensiblement indépendant de la vitesse et évaluer sa valeur $C_{rp}$. Proposer un autre essai permettant de vérifier de façon plus précise cette propriété. Pour la suite de l'étude, on prendra :

$$R_a = 0,2\Omega \ ; \ \lambda = 0,028\ \text{V/rad} \cdot \text{s}^{-1} \text{ et } C_{rp} = 0,02\ \text{Nm}.$$

### I.C - Détermination des paramètres du variateur de vitesse

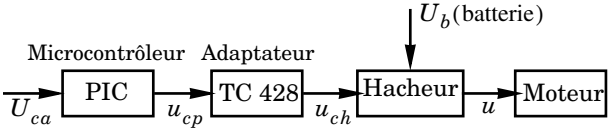



**Figure 5** : Chaîne de commande du moteur

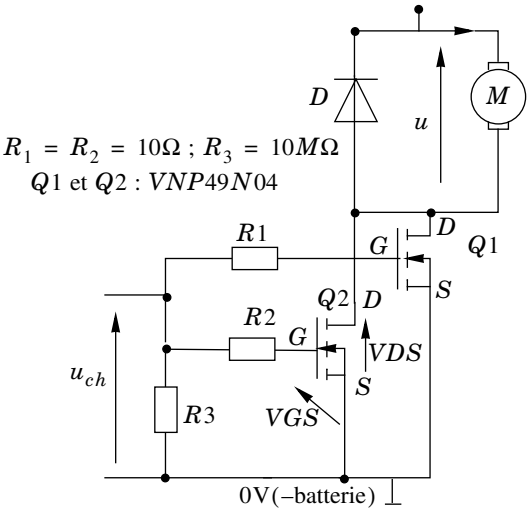
La tension $U_{ca}$ est la tension continue issue du potentiomètre de réglage de vitesse. Les tensions $u_{cp}$ et $u_{ch}$ sont des tensions rectangulaires dont le rap-

port cyclique $a$ est proportionnel à $U_{ca}$. Les transistors $Q1$ et $Q2$ conduisent lorsque $u_{ch}$ est à l'état haut et sont bloqués lorsque lorsque $u_{ch}$ est à l'état bas. La période de hachage est $T_h = 130\mu s$.

I.C.1) Étude de la commande de grille.

Quel est le type des transistors de puissance utilisés ici ? Quelles propriétés ont ces composants ? Quel est précisément le rôle du circuit TC428 ? La documentation technique de $Q1$ et $Q2$ indique dans les conditions d'utilisation $R_{dson} = 40\ m\Omega$. Quelle est la signification de ce terme ?

**Figure 6** :Le hacheur $U_b = +12$ V(+ batterie)




I.C.2) Détermination du couple de charge.

Un essai a permis de déterminer que, sur terrain plat, le chariot ne démarre, que pour un rapport cyclique minimal de 20 % (la conduction est alors continue). Déterminer le couple résistant total $C_{r0}$ (incluant le couple de pertes du moteur) que doit vaincre le moteur au démarrage. On fera le calcul successivement dans les deux hypothèses suivantes :

a) La diode est idéale, les chutes de tension aux bornes des transistors sont négligeables.

b) La diode présente une chute de tension $V_{CT} = 0,9$ V en conduction. On tient compte du paramètre $R_{dson}$ donné précédemment. On pourra, pour cette question, assimiler le courant instantané dans le moteur à sa valeur moyenne.

Pour la suite de l'étude, ce couple résistant sera considéré indépendant de la vitesse de rotation et on prendra $C_{r0} = 0,22$ Nm.

I.C.3) Détermination de l'inductance $L_a$ de l'induit du moteur.

Lors d'un essai sur terrain plat et à vitesse constante, on a relevé la valeur de l'ondulation du courant d'induit pour différents rapports cycliques (l'ondulation de $i(t)$ est définie par : $\Delta I = I_{max} - I_{min}$ où $I_{max}$ et $I_{min}$ représentent respectivement les valeurs maximale et minimale de $i(t)$ sur une période de hachage). Une ondulation maximale $\Delta I_{max} = 1A$ a été obtenue pour un rapport cyclique $a$ de $0,5$.

On néglige, pour cette question, l'influence de $R_{dson}$.

a) Expression de la fem $E$ du moteur.

Exprimer la fem $E$ du moteur en fonction de $a$, $U_b$, $V_{CT}$, $R_a$ et $< i >$ .

b) Expression de l'ondulation du courant d'induit.

Écrire l'équation différentielle vérifiée par le courant d'induit pendant la phase de conduction des transistors. Quelle hypothèse faut-il adopter pour que la solution de cette équation soit assimilable à une droite ? Déterminer dans ce cas l'expression de l'ondulation $\Delta I$ du courant d'induit en fonction de la tension batterie $U_b$, de la chute de tension dans la diode passante $V_{CT}$, de l'inductance $L_a$ de l'induit de la fréquence $f_h$ de hachage et du rapport cyclique $a$ .

c) Exploitation.

Justifier que l'ondulation est maximale pour $a = 0,5$. Déduire de la valeur de $\Delta I_{max}$ la valeur de l'inductance $L_a$ de l'induit.

Justifier à postériori les hypothèses précédentes : courant $i(t)$ triangulaire, influence de $R_{dson}$ négligeable.

On prendra pour la suite $L_a = 400\mu H$.

## *Partie II - Étude du capteur de vitesse*

Le capteur de vitesse est constitué :

- D'un disque lié à l'arbre de sortie du réducteur dans lequel sont découpées n encoches (voir figure 7).
- D'un détecteur optoélectronique à fourche (figure 7) lié au bâti positionné comme indiqué dans la figure.
- D'un circuit de mise en forme de l'information.
- D'un convertisseur fréquence-tension.

Le détecteur optoélectronique est constitué d'une photodiode et d'un phototransistor. Lorsque le disque vient masquer la lumière émise par la photodiode, le phototransistor est bloqué. Il est au contraire saturé (On note $V_{sat}$ sa tension de saturation) lorsqu'une encoche du disque laisse passer la lumière émise par la photodiode.

Le circuit de mise en forme permet de générer le signal rectangulaire $e(t)$ dont la fréquence porte l'information vitesse recherchée.

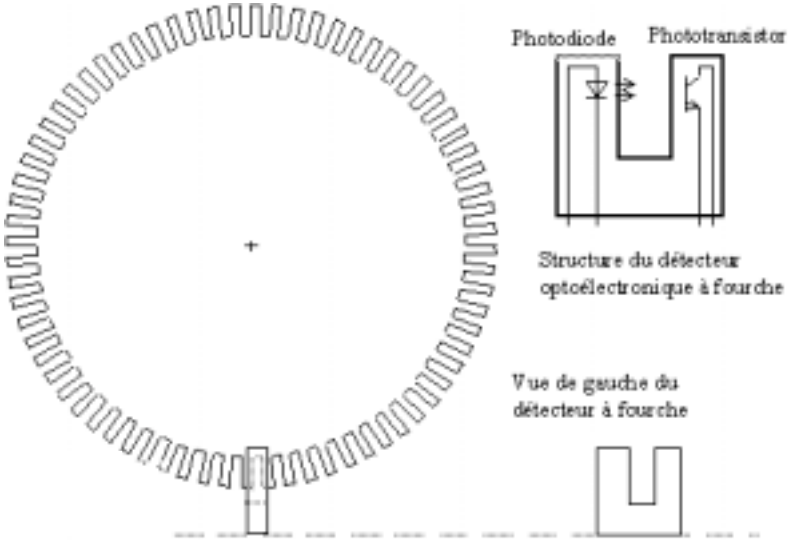
Ce signal $e(t)$ est présentée à l'entrée du convertisseur fréquence-tension qui permet alors d'obtenir l'information vitesse sous forme d'une tension .

Données numériques :

- nombre d'encoches du disque : $n = 72$
- rapport de réduction du réducteur : $k = 25$

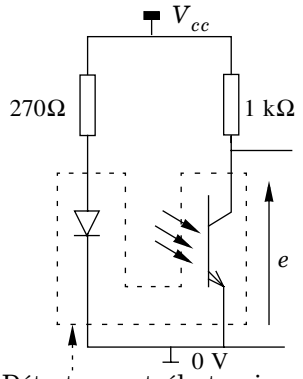
- Diamètre des roues : $d = 30$ cm
- Plage de réglage de la vitesse moteur : de 200 à 4000 tr/min

**Figure : 7** disque et détecteur à fourche




## II.A - Mise en forme du signal

**Figure 8** : Circuit de mise en forme du signal vitesse




Détecteur optoélectronique à fourche

Donner l'allure de la tension $e(t)$ (voir figure 8) . Déterminer les plages de variation de la fréquence (notée $F$) de $e(t)$ et de la vitesse du chariot correspondant à la plage de réglage de la vitesse du moteur.

## II.B - Étude du convertisseur fréquence-tension

Le convertisseur est réalisé à l'aide d'un circuit spécialisé : le LM2917. La tension externe d'alimentation de ce circuit n'est pas nécessairement régulée. Une diode zéner interne permet de fournir la tension, notée $U_z$, nécessaire à l'alimentation de l'électronique interne.

La figure 9 indique le câblage réalisé. La structure interne du LM2917 y est modélisée.

II.B.1) Détermination de la tension interne d'alimentation.

On donne pour la diode zéner : Tension zéner $7,56$ V , résistance série $10,5\ \Omega$ .

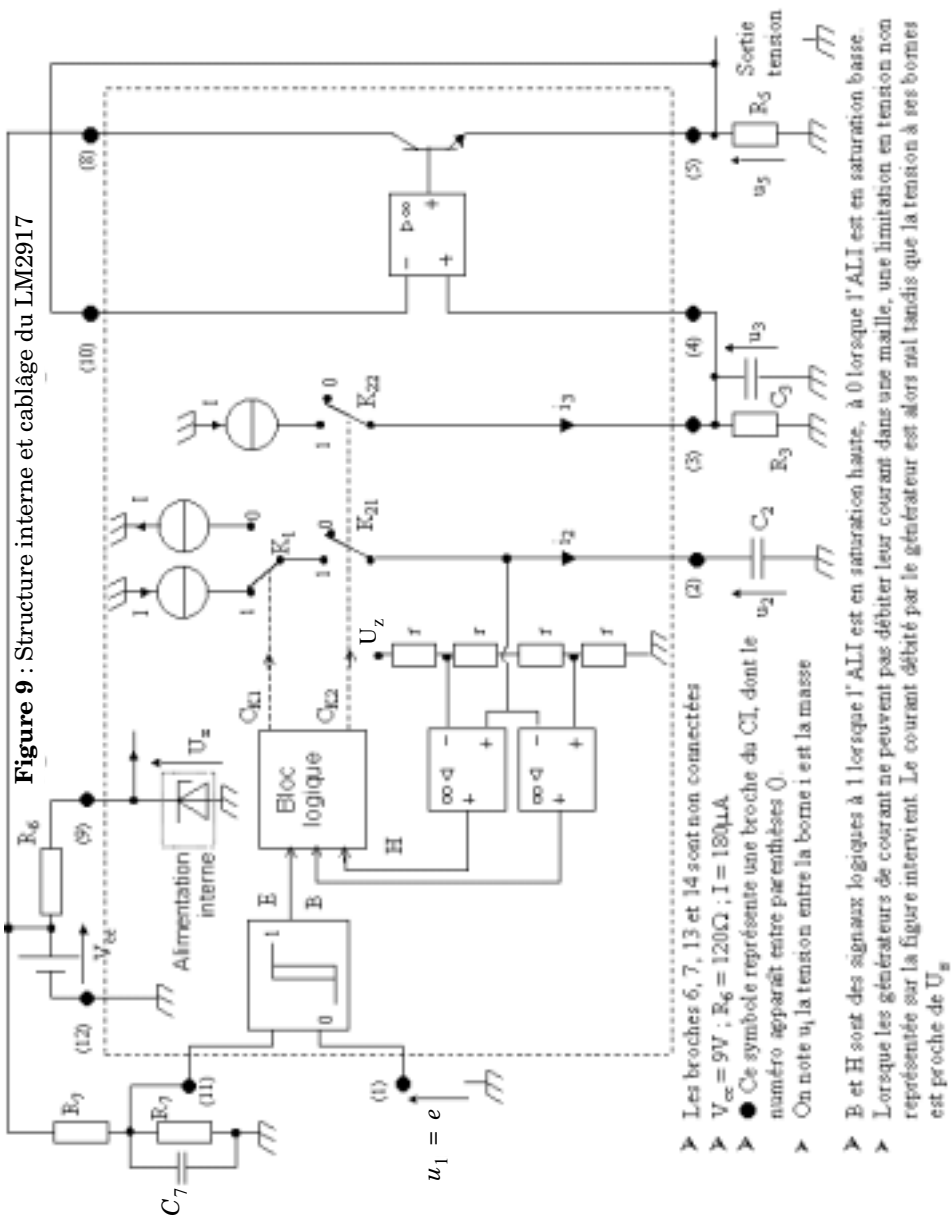



**Figure 9** : Structure interne et cablâge du LM2917

Déterminer la tension $U_z$ en négligeant le courant consommé par l'électronique devant le courant traversant la résistance $R_6$.

Quel que soit le résultat obtenu, on retiendra pour la suite du problème : $U_z = 8\ \text{V}$.

II.B.2) Comparateur à hystérésis.

Il comporte des entrées différentielles et délivre un signal logique noté $E$ dont le niveau dépend du niveau de $u_1 - u_{11}$ conformément à la caractéristique suivante :

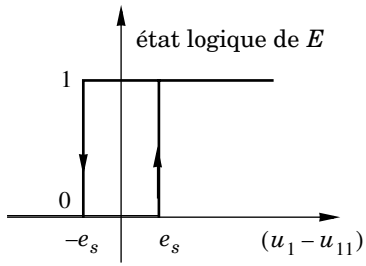



**Figure 10** : cyclogramme du comparateur à hystérésis

a) Quel est le rôle du montage constitué des deux résistances $R7$ et du condensateur $C7$ ?

b) La documentation technique indique des seuils ayant pour valeur typique $e_s = 15\ \text{mV}$. Quel peut-être l'intérêt d'un comparateur à hystérésis sur l'entrée ?

c) $e(t)$ est une tension carrée, de période $T$, telle que $e_{max} = 9\ \text{V}$ et $e_{min} = 1\ \text{V}$. Donner l'allure de e(t) et du signal logique $E(t)$ sur le même axe des temps.

On supposera pour la suite de cette partie II que $E(t)$ est un signal logique carré, périodique. $T$ est sa période et $F$ sa fréquence. La fréquence $F$ varie entre $F_{min} = 10\ \text{Hz}$ et $F_{max} = 200\ \text{Hz}$.

II.B.3) Charge et décharge de $C2$ à durée constante.

Le séquencement des interrupteurs $K_1$ et $K_2$ est assuré par un bloc logique. Lorsque le signal logique $C_{K1} = 0$, $K_1$ est en position $0$, Lorsque $C_{K_1} = 1$, $K_1$ est en position $1$. Lorsque le signal logique $C_{K2} = 0$, $K_{21}$ et $K_{22}$ sont en position $0$, Lorsque $C_{K2} = 1$, $K_{21}$ et $K_{22}$ sont en position $1$. Les sorties $C_{K1}$ et $C_{K2}$ du bloc logique doivent vérifier la table de vérité ci-dessous.

| $E$ | $B$ | $H$ | $C_{K1}$ | $C_{K2}$ |
|---|---|---|---|---|
| 1 | $X$ | 0 | 1 | 1 |
| 0 | 0 | $X$ | 0 | 1 |
| 0 | 1 | $X$ | $X$ | 0 |
| 1 | $X$ | 1 | $X$ | 0 |

a) Donner les expressions logiques simplifiées de $C_{K1}$ et $C_{K2}$ en fonction de $E$, $B$ et $H$.

b) Montrer que la tension $u_2$ ne pourra croître que si elle est inférieure à une tension $u_{2max}$ que l'on déterminera. Montrer que la tension $u_2$ ne pourra décroître que si elle est supérieure à une tension $u_{2min}$ que l'on déterminera. En déduire que la tension $u_2$ reste comprise entre ces deux valeurs.

c) À un instant pris comme origine des temps, la tension $u_2$ vaut $u_{2min}$ et $E$ passe de $0$ à $1$ (et y reste jusqu'à une nouvelle indication). Montrer que la tension $u_2$ croît alors. Quel événement marquera la fin de la croissance de $u_2$ ? Exprimer la durée $T'$ de cette croissance en fonction de $I$, $C_2$ et $u_z$ .Qu'advient-il de $u_2$ au delà de $T'$ ?

d) À l'instant $t_1 (t_1 > T')$, $E$ passe à $0$. Montrer que la tension $u_z$ décroît alors. Exprimer la durée $T''$ de la décroissance.

e) En supposant que la période de $E(t)$ est supérieure à $T' + T''$', tracer l'allure de $E(t)$, $i_2(t)$, $u_z(t)$ et $i_3(t)$ sur deux périodes de $E(t)$.

f) Déterminer la valeur maximale de $C_2$ permettant d'assurer une charge et une décharge complètes de ce condensateur dans les conditions de l'étude. **On prendra par la suite $C_2 = 100$ nF**.

II.B.4) Charge et décharge de C3

On suppose dans cette question que la vitesse du chariot est constante et donc que les grandeurs $i_3(t)$ et $u_3(t)$ sont périodiques.

a) Montrer que la valeur moyenne $<i_3>$ de $i_3(t)$ est : $<i_3> = 2 \cdot IT'F$. À partir de l'équation différentielle vérifiée par $u_3(t)$, exprimer la valeur moyenne $<u_3>$ de $u_3(t)$ en fonction de $<i_3>$. En déduire que $<u_3>$ est proportionnelle à $F$. Exprimer le coefficient de proportionnalité $\beta$ en fonction de $T'$, $I$ et $R_3$ puis en fonction de $R_3$, $C_2$ et $U_z$.

b) Déterminer $R_3$ de façon à obtenir $<u_3> = 6$ V pour $F = F_{max} = 200$ Hz. La précision de ce réglage est importante pour la suite de l'étude. Comment, pratiquement, pourra être réalisée la résistance $R_3$.

c) Déterminer la valeur minimale de la capacité du condensateur $C_3$ qui permettra d'obtenir, pour $u_3(t)$, un taux d'ondulation au moins 40 fois plus faible que celui de $i_3(t)$. On pourra supposer pour ce calcul que les ondulations de $i_3(t)$ et de $u_3(t)$ se limitent à leur fondamental. Le taux d'ondulation est alors défini par :

$$\text{taux d'ondulation} = \frac{\text{valeur efficace du fondamental}}{\text{valeur moyenne}}.$$

**On prendra par la suite** $C_3 = 10 \mu F$.

d) En déduire que l'ensemble $\{R_3, C_3\}$ réalise un filtre d'entrée $i_3(t)$ et de sortie $u_3(t)$ dont on précisera le type et le rôle. La fréquence $F$ est-elle dans la bande passante de ce filtre ? Commenter brièvement.

II.B.5) Étude dynamique du capteur.

Ce capteur sera utilisé dans une boucle d'asservissement. Il est donc nécessaire de connaître son comportement dynamique.

La question précédente nous a montré que seule la valeur moyenne de $i_3(t)$ sur une période portait l'information vitesse ; Aussi, on assimilera le courant $i_3(t)$ à $i_{3e}(t)$ ainsi défini : $i_{3e}(t)$ est constant sur une période de $i_3(t)$, et égal pendant cette période à $<i_3(t)>$.

Lorsque la vitesse du chariot est constante, la fréquence $F$ est constante, ce courant $i_{3e}(t)$ est continu et $u_3(t)$ également. Si la vitesse du chariot varie de manière sinusoïdale à une fréquence $f$ bien plus faible que $F$, $F$ et $i_{3e}(t)$ varieront à cette même fréquence. On négligera l'aspect «en escalier» qu'aura alors $i_{3e}(t)$ (ce qui revient à assimiler $i_{3e}(t)$ à son fondamental). La variation sinusoïdale $i_{3e}(t)$ entraînera une variation sinusoïdale de $u_3(t)$. Établir l'expression de la fonction de transfert

$$\underline{B_{v1}}(j\omega) = \frac{\underline{U_3}(j\omega)}{\underline{\overline{F}}(j\omega)} \text{ (avec } \omega = 2\pi f \text{).}$$

Montrer qu'elle peut se mettre sous la forme

$$\underline{B_{v1}}(j\omega) = \frac{B_{v10}}{1 + j\tau_v\omega}.$$

Donner les valeurs littérales et numériques de $B_{v10}$ et de $\tau_v$.

II.B.6) Étage de sortie. L'ALI est parfait.

a) Montrer que l'ALI fonctionne en régime linéaire. En déduire la relation entre $u_5$ et $u_3$. Quel est l'intérêt de ce montage ?

b) Montrer que la tension $u_5$ est proportionnelle à la vitesse linéaire (notée $v$) du chariot (fonctionnement à vitesse constante, en ligne droite, les roues ne patinent pas). Déterminer la valeur numérique de ce coefficient de proportionnalité (noté $B_{v0}$) exprimé en $V/\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.

c) Montrer que la fonction de transfert

$$\underline{B_v}(j\omega) = \frac{\underline{U_5}(j\omega)}{\underline{\overline{V}}(j\omega)} \text{ peut se mettre sous la forme } \underline{B_v}(j\omega) = \frac{B_{v0}}{1 + j\tau_v\omega}.$$

# *Partie III - Asservissement*

Le schéma fonctionnel à réaliser est donné figure 11. Il montre une boucle principale de vitesse et une boucle interne de courant.

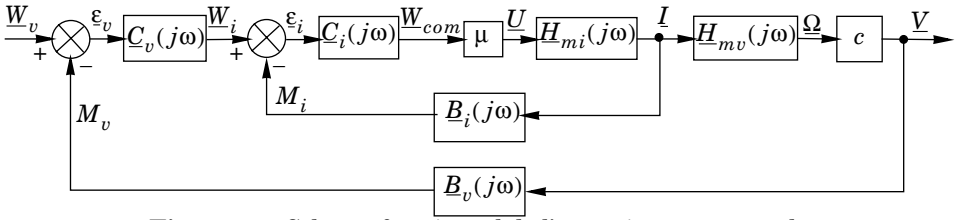



**Figure 11** : Schéma fonctionnel de l'asservissement complet

On prendra dans cette partie

$$\underline{B}_v(j\omega) = \frac{B_{v0}}{1 + j\tau_v\omega} \text{ avec } B_{v0} = 2,2 \text{ V} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s} \text{ et } \tau_v = 0,4 \text{ s}.$$

On rappelle que le couple résistant appliqué au moteur est constant. Les frottements fluides sont négligés. L'inductance de l'induit du moteur est $L_a = 400\mu\text{H}$ sa résistance et son coefficient de fem

$$R_a = 0,2\Omega \text{ et } \lambda = 0,028 \text{ V/rad} \cdot \text{s}^{-1}.$$

Le terme $\mu$ correspond au variateur de vitesse. On donne $\mu = 1,5$. On rappelle enfin le rapport de réduction du réducteur : $k = 25$, le diamètre des roues : $d = 300$ mm et la période de hachage du variateur : $T_h = 130\mu\text{s}$.

### III.A - Détermination des fonctions de transfert liées au moteur

III.A.1) Moment d'inertie équivalent ramené à l'axe du moteur.

Le moment d'inertie de l'ensemble des pièces en rotation (arbre moteur, ensemble réducteur, axe du capteur, axe, roues), ramené au niveau de l'arbre du moteur est $J_1 = 1,3 \cdot 10^{-3} \text{kg} \cdot \text{m}^2$. La masse totale (masse du chariot + masse du sac transporté) en translation est $M = 30$ kg. Déterminer le moment d'inertie équivalent total ramené à l'arbre du moteur (noté $J$) dont il faudra tenir compte dans l'étude dynamique. On prendra par la suite $J = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$.

III.A.2) Détermination de $\underline{H}_{mi}(j\omega)$.

Montrer que $\underline{H}_{mi}(j\omega)$ peut se mettre sous la forme

$$\underline{H}_{mi}(j\omega) = \frac{1}{R_a} \frac{j\omega\tau_m}{1 + j\omega\tau_m + (j\omega)^2\tau_m\tau_e}.$$

On donnera les expressions littérales et numériques de $\tau_m$ et $\tau_e$. On remarquera qu'étant donné que $\tau_m \gg \tau_e$, la fonction de transfert $\underline{H}_{mi}(j\omega)$ peut se mettre sous la forme

$$\underline{H}_{mi}(j\omega) = \frac{1}{R_a} \frac{j\omega\tau_m}{(1+j\omega\tau_m)(1+j\omega\tau_e)}.$$

III.A.3) Détermination de $\underline{H}_{mv}(j\omega)$.

Montrer que $\underline{H}_{mv}(j\omega)$ peut s'exprimer sous la forme : $\underline{H}_{mv}(j\omega) = \frac{\delta}{j\omega}$.

Donner l'expression littérale de $\delta$ et calculer sa valeur numérique.

## III.B - Étude de la boucle de courant

III.B.1) Réalisation du capteur de courant moyen.

Le capteur de courant moyen est constitué d'un capteur de courant instantané suivi d'un filtre passe-bas.

a) Capteur de courant instantané.

Proposer une solution technologique pour la réalisation de ce capteur. Le capteur fournit, après adaptation, une tension de 400 mV par ampère.

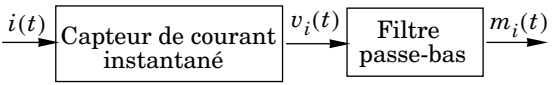


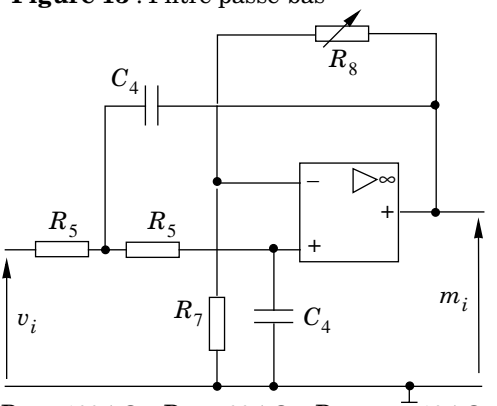

**Figure 12** : Capteur de courant moyen

b) Filtre passe-bas.

La solution retenue est un filtre du deuxième ordre dont le schéma est donné figure 13. L'amplificateur linéaire intégré est alimenté en 0 – 9 V. Exprimer la fonction de transfert

$\underline{B}_{i2}(j\omega) = \frac{\underline{M}_i(j\omega)}{\underline{V}_i(j\omega)}$ en fonction de $R_5$, $C_4$ et $k = \frac{R_7 + R8}{R_7}$.

**Figure 13** : Filtre passe-bas




$R_5 = 100\ \text{k}\Omega$ ; $R_7 = 22\ \text{k}\Omega$ ; $R_{8max} = 10\ \text{k}\Omega$ ;

Mettre cette fonction du second ordre sous forme canonique et exprimer sa pulsation propre $(\omega_0)$, sa fréquence propre $(f_0)$ et son facteur d'amortissement $(z)$ en fonction des éléments précédemment cités. Montrer que dans la plage de variation de $R_8$, le circuit reste stable.

c) Fonction de transfert du capteur.

Exprimer la fonction de transfert

$$\underline{B_i}(j\omega) = \frac{\underline{M_i}(j\omega)}{\underline{I}(j\omega)} \text{ en fonction de } R_5, C_4 \text{ et } k.$$

Déterminer le réglage de $k$ permettant d'obtenir une tension de $8\ \text{V}$ lorsque le courant moteur est de $16\ \text{A}$. Déterminer alors la valeur numérique du facteur d'amortissement.

Donner la condition sur $C_4$ permettant d'obtenir un taux d'ondulation de $m_i(t)$ au moins 10 fois plus faible que celui de $i(t)$.

On considérera par la suite que

$$\underline{B_i}(j\omega) = \frac{B_{i0}}{(1+j\tau_i\omega)^2} \text{ avec } B_{i0} = 0,5\Omega \text{ et } \tau_i = 65\mu\text{s}.$$

III.B.2) Réglage du correcteur.

La fonction de transfert du correcteur est

$$\underline{C_i}(j\omega) = A_i\frac{1+T_ij\omega}{T_ij\omega}.$$

De quel type de correcteur s'agit-il ? Le temps $Ti$ est choisi tel que $T_i = \tau_m$. Déterminer la pulsation $\omega_\varphi$ pour laquelle la phase $\varphi_{BO}$ de la fonction de transfert en boucle ouverte est égale à $125°$. (On pourra soit tracer succinctement la courbe $\varphi_{BO} = f(\omega)$ et faire une lecture graphique soit utiliser une méthode numérique qu'on précisera) . En déduire la valeur $A_{i0}$ de $A_i$ donnant au système une marge de phase de $55°$. Déterminer l'erreur statique (en % ) de cette boucle pour ce réglage .

III.B.3) Détermination d'un premier ordre équivalent.

Pour le réglage précédemment déterminé, le diagramme de Bode de la fonction de transfert en boucle fermée

$$\underline{F_i}(j\omega) = \frac{\underline{I}(j\omega)}{\underline{W_i}(j\omega)} \text{ est donné figure 14.}$$

Montrer qu'on peut approcher cette fonction par une fonction du premier ordre de la forme

$$\frac{F_{i0}}{1+j\tau_{fi}\omega}.$$

Proposer des valeurs numériques pour $F_{i0}$ et $\tau_{fi}$ (on précisera le mode d'obtention de ces valeurs).

Pour la suite du problème, on remplacera la fonction $F_i(j\omega)$ par cette approximation du premier ordre avec $F_{i0} = 2\Omega^{-1}$ et $\tau_{fi} = 100\mu\text{s}$.

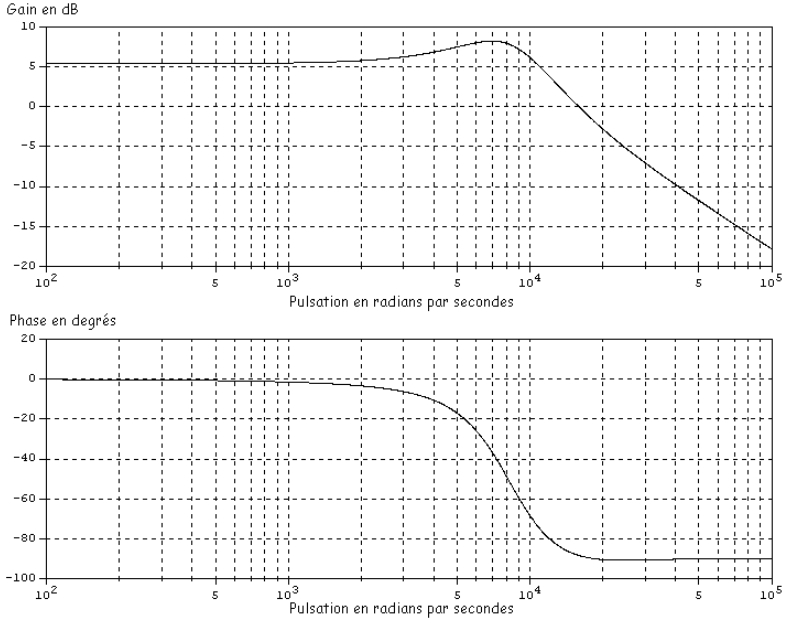



**Figure 14** : Fonction de transfert en boucle fermée de la boucle de courant

### III.C - Étude de la boucle principale (boucle de vitesse)

$C_v(j\omega)$ est un correcteur proportionnel. On notera $\underline{C_v}(j\omega) = A_v$. Déterminer la valeur numérique du coefficient $c$.

Déterminer la fonction de transfert en boucle ouverte $T_v(j\omega)$ de l'asservissement. En remarquant que $\tau_{fi} \ll \tau_v$, proposer une simplification de cette fonction de transfert en une fonction du second ordre. Déterminer la fonction de transfert en boucle fermée

$$\underline{F_v}(j\omega) = \frac{\underline{V}(j\omega)}{\underline{W_v}(j\omega)}.$$

Déterminer le réglage de $A_v$ donnant à $F_v(j\omega)$ un facteur d'amortissement $z = 0,7$. Quels sont les avantages de ce réglage ? Que vaut l'erreur statique (exprimée en %) de cette boucle ?

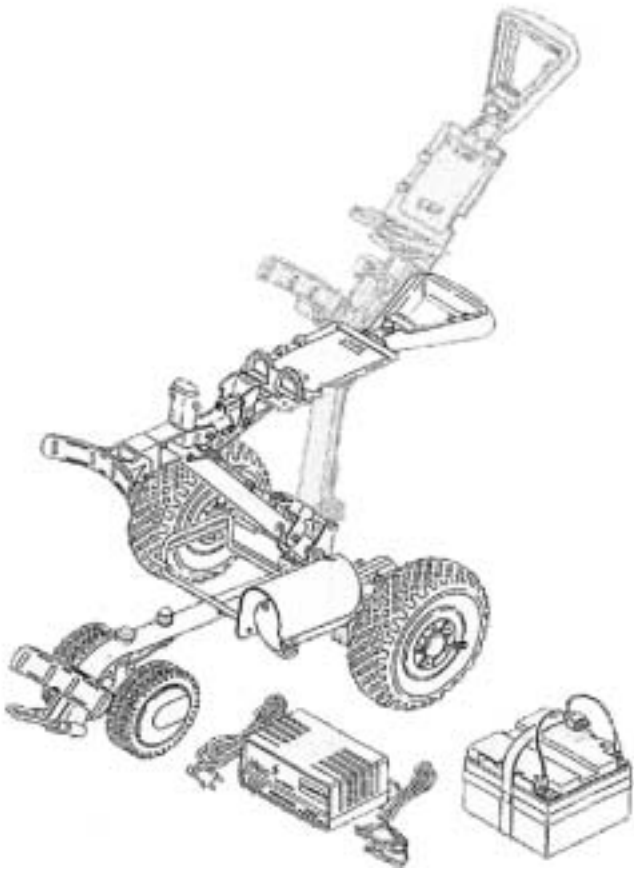
### III.D - Influence d'une variation du couple résistant

On souhaite étudier l'influence d'une variation du couple résistant (dûe par exemple à une variation de la pente ou de la nature du terrain). Proposer la modification du schéma fonctionnel qu'il convient de réaliser. Une variation de

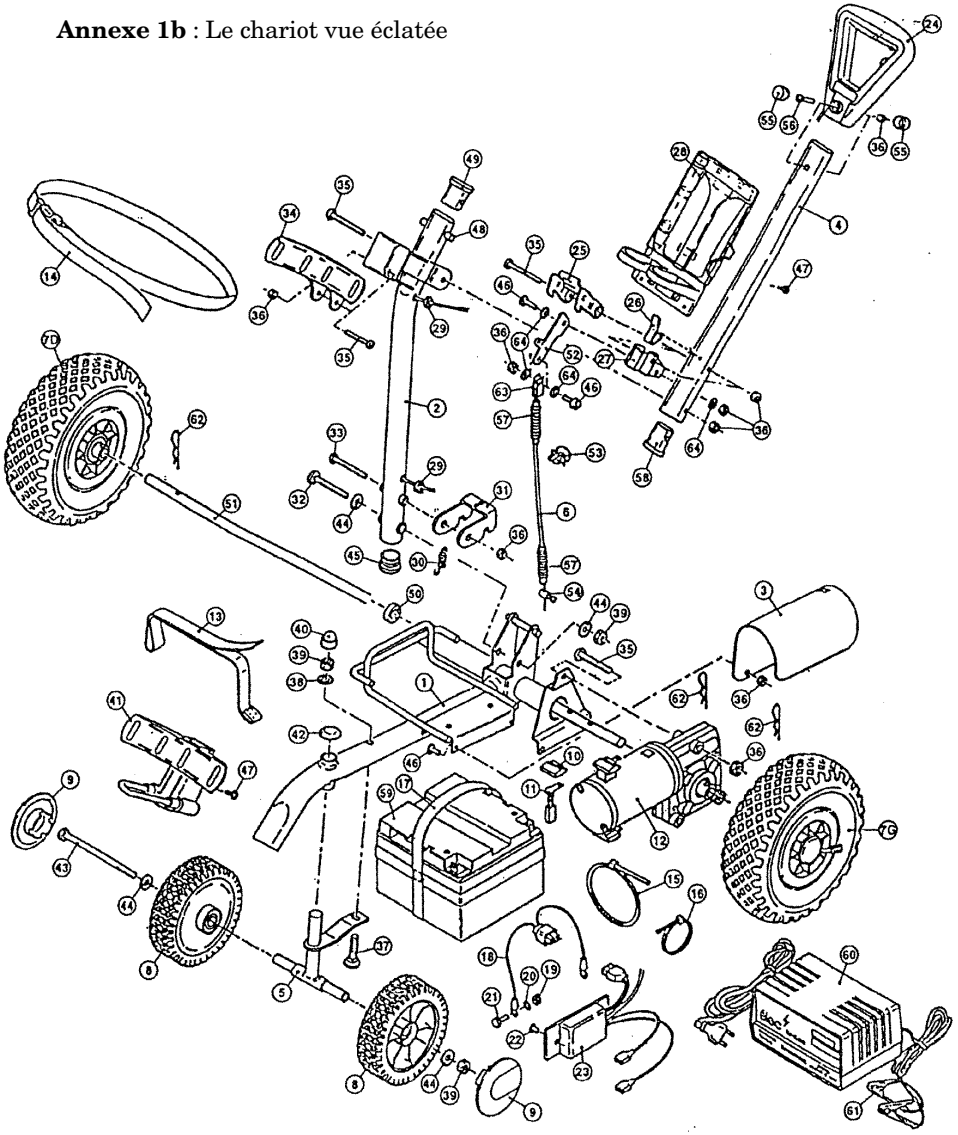
la pente du terrain par exemple occasionnera-t-elle une variation de la vitesse du chariot ?

Justifier votre réponse et, si votre réponse est positive, proposer une solution pour palier cet inconvénient

**Annexe 1a** : Le chariot vue d'ensemble

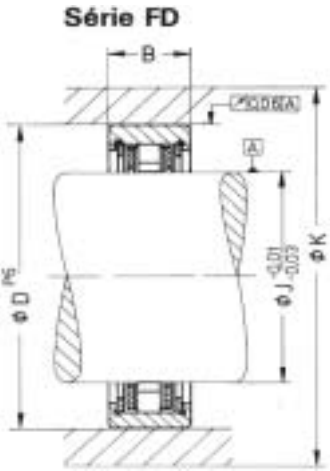


**Annexe 1b** : Le chariot vue éclatée



Annexe 2 : Roues libres Siam Ringspann, série FD






| Type | $J$(mm) | $B$(mm) | $D$(mm) | $K$(mm) |
|---|---|---|---|---|
| $FD12$ | 12 | 16 | 34 | 45 |
| $FD15$ | 15 | 20 | 37 | 50 |
| $FD20$ | 20 | 20 | 42 | 55 |
| $FD25$ | 25 | 20 | 47 | 60 |
| $FD30$ | 30 | 20 | 52 | 25 |
| $FD40$ | 40 | 22 | 62 | 80 |
| $FD50$ | 50 | 22 | 72 | 95 |
| $FD65$ | 65 | 25 | 90 | 120 |
| $FD80$ | 80 | 25 | 110 | 140 |
| $FD105$ | 105 | 35 | 130 | 165 |

**••• FIN •••**

# Prepa Help

prepahelp.com · classes préparatoires, Maroc et France

## Travailler les chapitres de ce sujet

Prepa Help suit le programme de TSI chapitre par chapitre : cours détaillé, méthodes, pièges, exercices et problèmes corrigés pas à pas, tirés des concours. L'essai gratuit donne accès aux chapitres offerts de ta filière, sans carte bancaire.

### Chapitres liés à ce sujet

- e et transformée de Laplace
- et structurelle : chaînes d'information et de puissance
- néorème de l'énergie cinétique, rendement
- ré, st

**Ouvrir l'essai gratuit**

Scanne le code ou clique sur le bouton.

**prepahelp.com/#essai**

Une question sur le concours ou sur ta filière : **écrire sur WhatsApp**

asservis : structure, SLCI, transformée de Laplace, schéma-blocs

- Correction des systèmes asservis : correcteurs P, PI et à avance de phase

Les autres années et épreuves : prepahelp.com/annales/centrale/tsi