

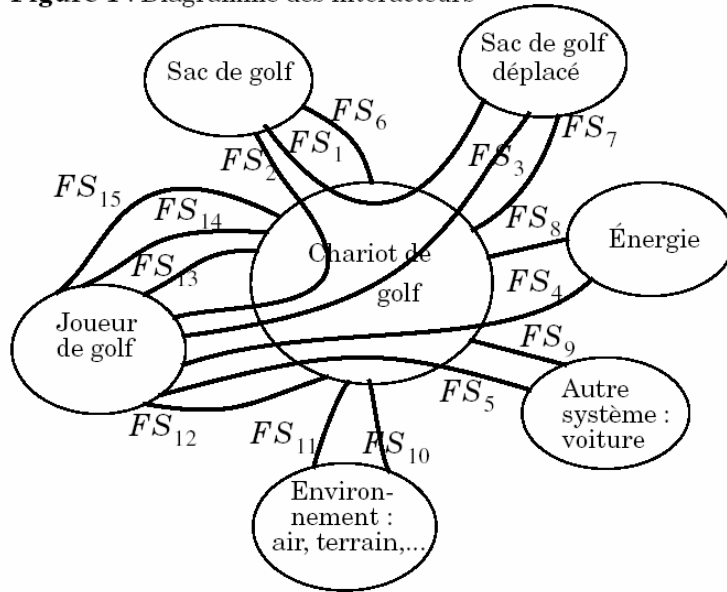
EXTRAIT SUJET CONCOURS Centrale-Supélec SII2 2003

Etude du chariot de golf électrique

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

Les différentes fonctions de service que doit assurer le chariot sont présentées dans le diagramme des interacteurs 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 ;
- Appuie sur le bouton poussoir « Marche- arrêt » de la poignée (et le maintient appuyé). A cet instant :
 - ✓ Un bip sonore est émis pour informer de l'état de la 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 technologiques adoptées :

Le chariot est représenté sur l'annexe 1a ci-dessous.

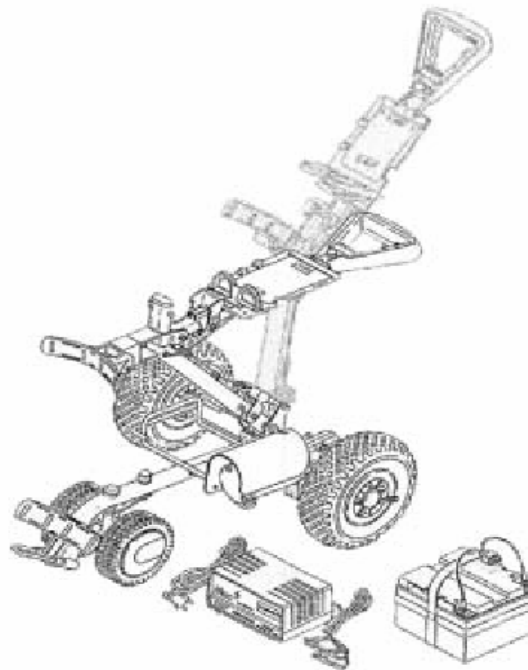
La motorisation du chariot est assurée par un moto réducteur (réducteur roue et vis sans fin) à courant continu.

L'orientation (fonction de service FS13) est permise par des roues libres qui sont placées entre les roues et l'arbre de sortie du réducteur.

Le recul du chariot (FS14) 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 12V 25Ah 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.

Annexe 1a : Le chariot vue d'ensemble



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)

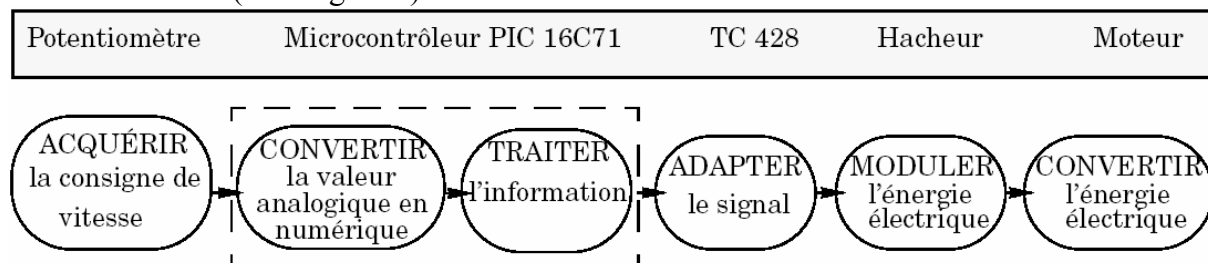


Figure 2 : Chaîne de commande de la vitesse

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

- 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.
- Vient lire la tension délivrée par le potentiomètre de réglage de la vitesse situé sur la poignée.
- Convertit cette valeur en valeur numérique.
- 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 microcontrôleur 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.

Première partie : Détermination des paramètres du moteur

Le moteur utilisé est un moteur à courant continu à aimants permanents de tension nominale 12V. La réaction magnétique d'induit est négligée. Il est associé à un réducteur de vitesse de rapport $k=25$ (k =vitesse angulaire moteur/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 |

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

La documentation technique du chariot contient un tableau de mesure d'un essai en charge du moteur sans le réducteur à tension d'induit constante. Ce tableau est fourni ci-contre figure 4.

I.A) Résistance et coefficient de fem

Déterminer à l'aide de ce tableau la résistance d'induit R_a et le coefficient de fem λ exprimé en $\text{V}/(\text{rad/s})$.

I.B) 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 cette propriété de façon plus précise.

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

Pour la suite du sujet, on prendra : $R_a = 0.2\Omega$, $\lambda = 0.028\text{V}/\text{rad.s}^{-1}$ et $C_{rp} = 0.02\text{N.m}$.

Seconde partie : Détermination des paramètres du variateur de vitesse

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 rapport cyclique α est proportionnel à U_{ca} . Les transistors Q_1 et Q_2 conduisent lorsque u_{ch} est à l'état haut et sont bloqués lorsque u_{ch} est à l'état bas. La période de hachage est $T_h = 130 \mu s$.

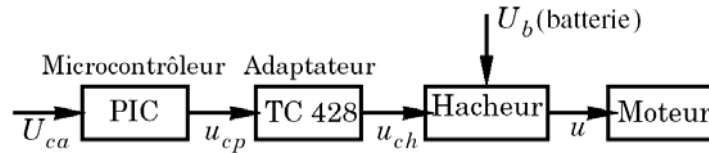
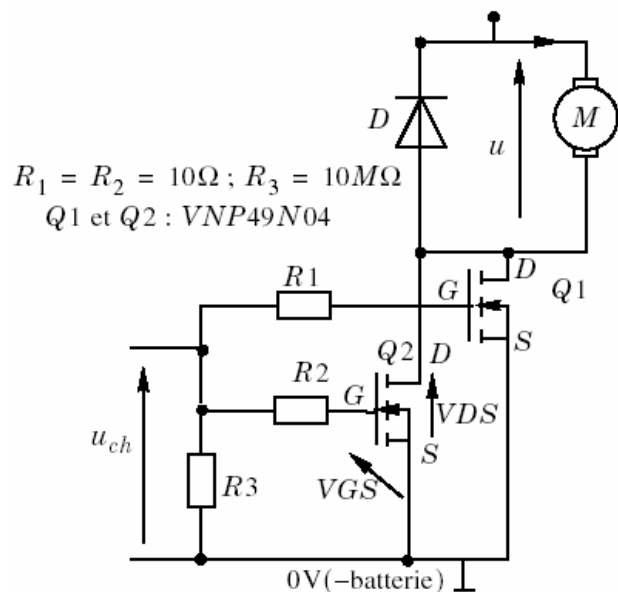


Figure 5 : Chaîne de commande du moteur

II.A) Etude de la commande de Grille

Quel est le type des transistors utilisés ici ?
Quelles propriétés ont ces composants ?
Quel est précisément le rôle du circuit TC428 ?
La documentation technique des transistors Q_1 et Q_2 indique dans les conditions d'utilisation $R_{ds(on)} = 40 m\Omega$. Quelle est la signification de ce terme ?

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



II.B) Détermination du couple de charge

Un essai a permis de déterminer que, sur terrain plat, le chariot ne démarre, que pour un rapport cyclique 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 2 hypothèses suivantes :

- La diode est idéale, les chutes de tensions aux bornes des transistors sont négligeables.
- La diode présente une chute de tension $V_{CT} = 0.9V$ en conduction. On tient compte du paramètre $R_{ds(on)}$ 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 $C_{r0} = 0.22 N.m$.

II.C) 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 α de 0.5.

On néglige, pour cette question, l'influence de $R_{ds(on)}$.

a) Expression de la fem E du moteur

Exprimer la fem E du moteur en fonction de α , U_b , V_{CT} , R_a et $\langle i \rangle$.

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

Ecrire 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 différentielle soit assimilable à une droite ?

Déterminer dans ce cas l'expression de l'ondulation ΔI du courant d'induit en fonction de la tension batterie U_b , de la chute de tension dans la diode V_{CT} , de l'inductance L_a de l'induit, de la fréquence f_H de hachage et du rapport cyclique α .

c) Exploitation

Justifier que l'ondulation est maximale pour $\alpha=0.5$. Déduire de la valeur de ΔI_{\max} la valeur de l'inductance L_a de l'induit.

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