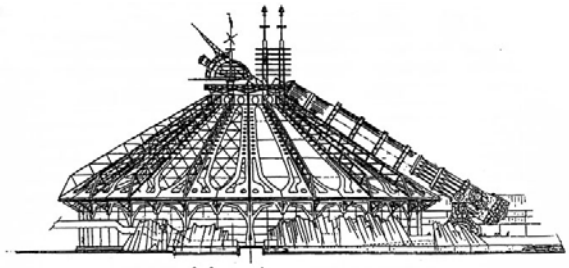
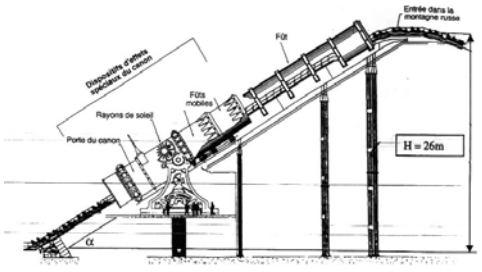
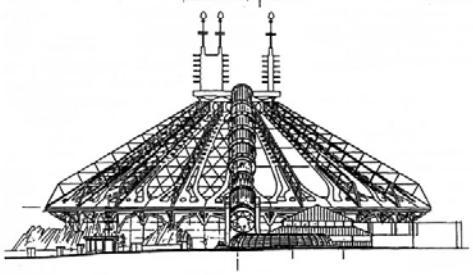
Attraction « Space Mountain »

Présentation de l'attraction

Cette attraction est installée au parc EuroDisney. Elle se présente sous la forme d'un chapiteau renfermant une montagne russe à grande vitesse. Les passagers peuvent faire l'expérience d'un voyage évoquant l'histoire du roman de Jules Vernes « de la terre à la lune », grâce à de somptueux décors spatiaux. Les voitures sont sonorisées en synchronisation avec le circuit qui comporte trois renversements complets.
Le système de lancement, évoquant un canon, est en fait une catapulte à propulsion électrique de type porte-avions. Un pousseur vient en contact avec le train afin de le propulser. La motorisation de ce dispositif fait l'objet de ce devoir.







Analyse fonctionnelle et structurelle de la catapulte

Le partie opérative du système de lancement proprement dit comporte :

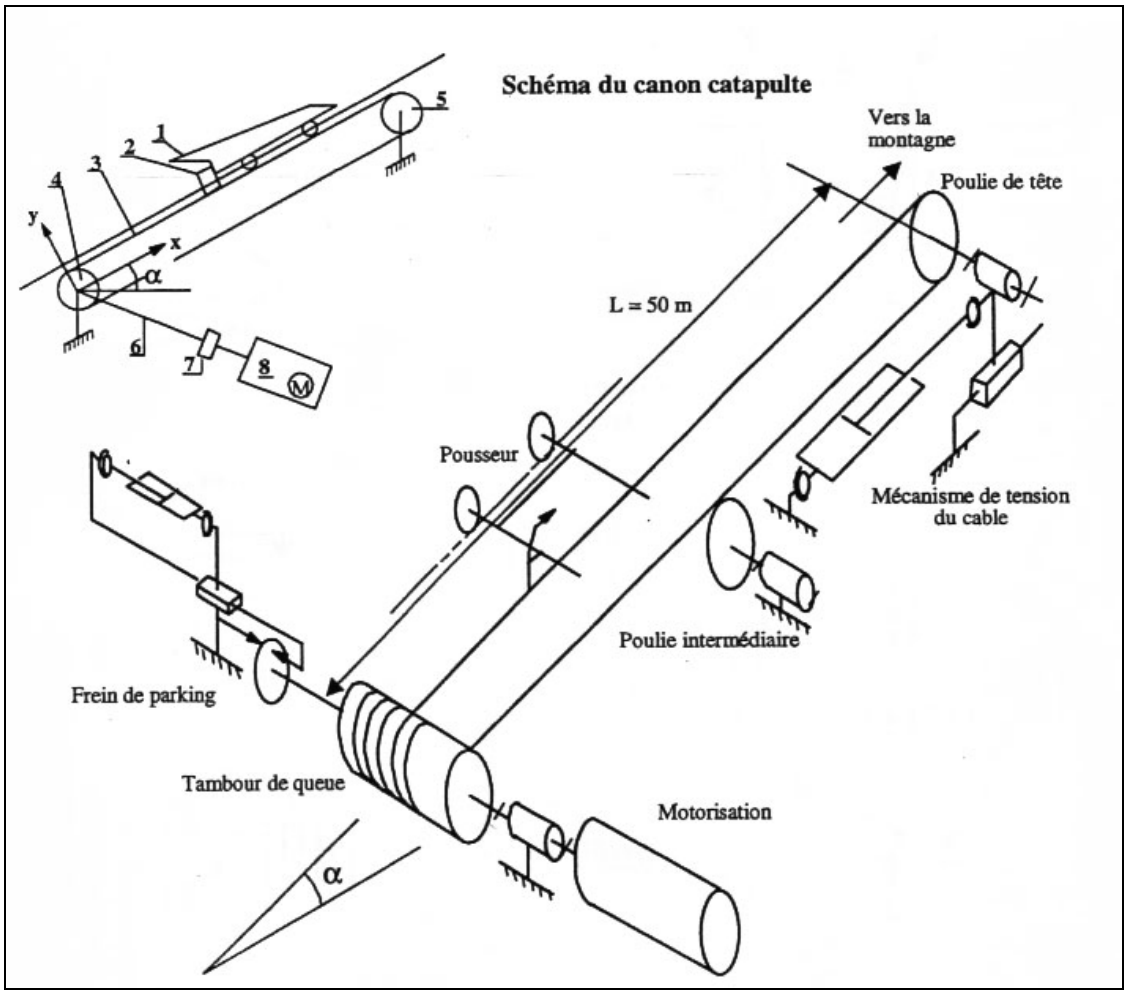
- Une rampe de lancement intégrée à un canon catapulte et disposée selon la génératrice du bâtiment de forme conique.
- Une chaîne fonctionnelle d'entraînement du pousseur 2 comportant un système de motorisation et un système de transformation de mouvement (La rotation de l'arbre moteur est transformée en translation du pousseur)
- Une chaîne fonctionnelle de tension du câble associée à la poulie de tête 5 : la tension du câble est ainsi contrôlée et asservie pendant toute la phase de lancement.
- Un frein de parking permet d'assurer le blocage du tambour d'entraînement lorsque le pousseur est au repos.

Extrait du cahier des charges

	Fonction	Critères	Niveau
FP_1	Propulser en toute sécurité un train de passagers vers le point d'entrée de la montagne russe	Durée du cycle de lancement Fréquence de lancement Masse propulsée Inclinaison de la voie Maintien en position Vitesse de propulsion accélération	30 secondes maxi 1 toute les36s 7500 kg maxi 34° frein de parking 14m/s maxi $8 m/s^2$ mini $\pm 1 m/s^2$

On donne le rapport de la transmission entre les vitesses et les accélérations :

$$\frac{V_{pousseur}}{\omega_{moteur}} = \frac{a_{pousseur}}{\omega'_{moteur}} = 0.5\,m$$



Etude de l'asservissement de la motorisation de la catapulte

Etude préliminaire : Moteur à courant continu

Les équations d'un moteur à courant continu classique sont donnés ci-après :

Equation électrique $u(t) = r.i(t) + L\dfrac{di(t)}{dt} + e(t)$

Equation mécanique $J_{eq}\dfrac{d\omega_m(t)}{dt} = C_m(t) - C_r(t)$

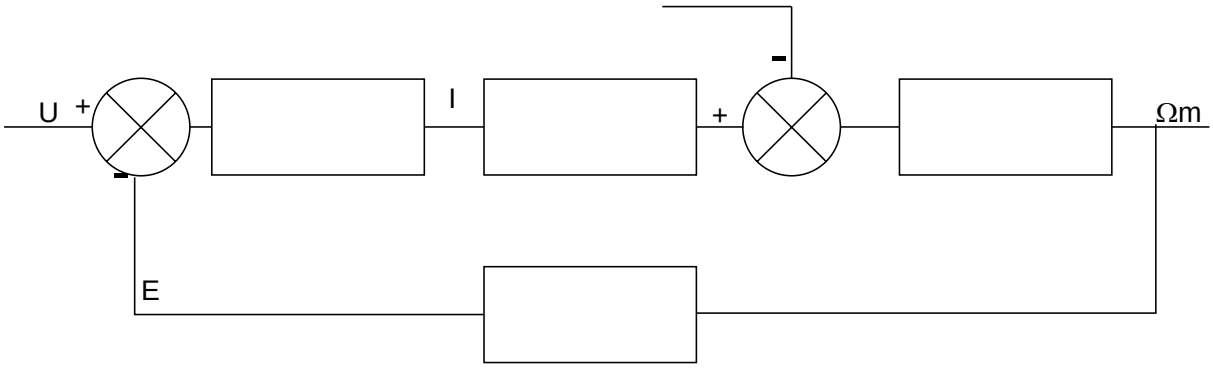
Relations caractéristiques de comportement $C_m(t) = K_t i(t)\, et\, e(t) = K_e \omega_m(t)$

Avec

- $u(t)$: la tension aux bornes du moteur (en V) (entrée du système)
- $e(t)$: force contre-électromotrice (en V)
- $i(t)$: intensité (en A)
- $\omega_m(t)$: vitesse de rotation du moteur (en rad/s) (sortie du système)
- $C_m(t)$: couple moteur (en N.m)
- $C_r(t)$: couple résistant (en N.m) (perturbation du système)
- J_{eq} : inertie en rotation de l'arbre moteur (en kg.m^2)
- R : résistance électrique du moteur
- L : inductance du moteur
- K_e : constante de la force contre-électromotrice
- K_t constante de couple

Q1/ Appliquer les transformées de Laplace aux équations précédentes.

Q2/ Compléter le schéma bloc suivant :



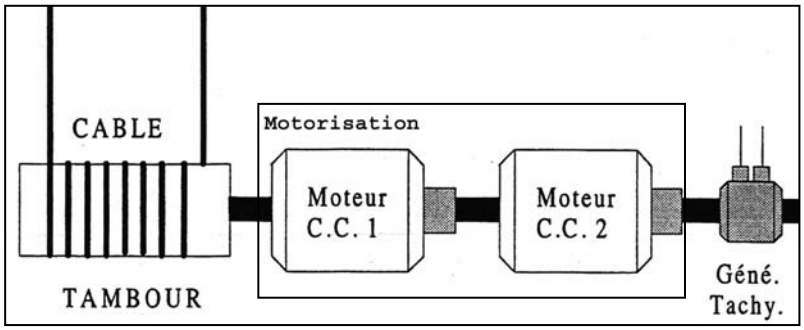
Q3/ Déterminer la fonction de transfert $H_1(p) = \dfrac{\Omega_m(p)}{U(p)}$ en la mettant sous la forme canonique (on supposera $C_r(p)$ nul pour cette question).

Q4/ Déterminer la fonction de transfert $G_1(p) = \dfrac{\Omega_m(p)}{C_r(p)}$ en la mettant sous la forme canonique (on supposera $U(p)$ nul pour cette question).

Q5/ En déduire $\Omega_m(p)$ en fonction de $U(p)$, $C_r(p)$, $H_1(p)$ et $G_1(p)$.

Présentation de la motorisation de la catapulte

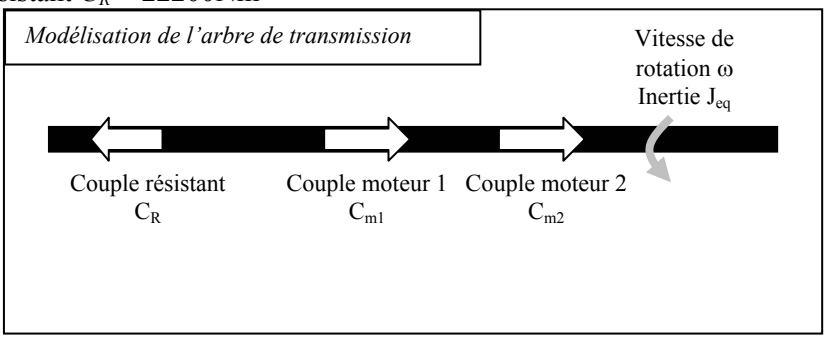
L'entraînement du tambour est obtenu par l'association de deux moteurs montés en tandem selon le schéma ci-contre.



M_1 et M_2 sont des moteurs à courant continu à excitation séparée. Pour chacun des moteurs, on utilisera le modèle classique, linéaire et continu du moteur à courant continu introduit dans la partie précédente. La vitesse est contrôlée par une génératrice tachymétrique.

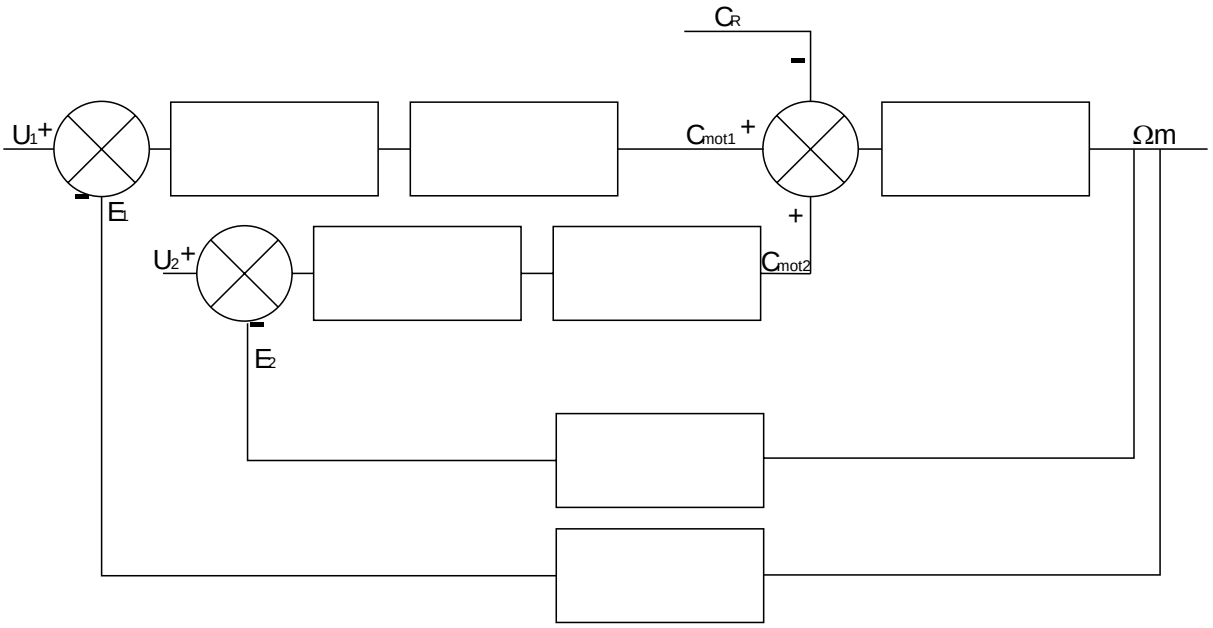
On note :

u_1 et u_2 les tensions respectives des moteurs M_1 et M_2 ; i_1 et i_2 les courants respectifs ;
C_{m1} et C_{m2} les couples moteurs
e_1 et e_2 les forces contre-électromotrices (fcem) ; K_{e1} et K_{e2} les constantes des fcem : K_{t1} et K_{t2} les constantes de couple ;
R_1, R_2 les résistances et L_1, L_2 les inductances des moteurs M_1 et M_2 ;
J_{eq} l'inertie équivalente de l'ensemble de la transmission ramenée à l'arbre moteur $J_{eq} = 3600 kg.m^2$
C_R le couple résistant $C_R = 22200 Nm$



Modélisation de la motorisation

Q6/ Par analogie avec la partie précédente, compléter le schéma bloc suivant :



Q7/ Montrer que la fonction de transfert peut s'écrire sous la forme :

$$\Omega(p) = H_1(p).U_1(p) + H_2(p).U_2(p) - H_3(p).C_r(p)$$

avec $H_1(p) = \dfrac{K_{t1}(R_1 + L_1 p)}{D(p)}; H_2(p) = \dfrac{K_{t2}(R_2 + L_2 p)}{D(p)}; H_3(p) = \dfrac{(R_1 + L_1 p)(R_2 + L_2 p)}{D(p)};$

et où $D(p) = J_{eq}(R_1 + L_1 p).(R_2 + L_2 p).(p) + K_{e1}K_{t1}(R_2 + L_2 p) + K_{e2}K_{t2}(R_1 + L_1 p)$

On suppose dans la suite du sujet que les deux moteurs sont strictement identiques et commandés par une même tension commune U. On repartira des expressions fournis ci-dessus.

On donne
$K_{e1} = K_{e2} = 22$ V/rd/s
$K_{t1} = K_{t2} = 22$ mN/A
$R_1 = R_2 = 0.03\ \Omega$
$L_1 = L_2 = 7.2\ 10^{-4}$ H
$U_{1max} = U_{2max} = 700$ V
$J_{eq} = 3600 \text{kg.m}^2$

Q8/ Montrer que la relation de transfert se simplifie.

Q9/ En comparant cette fonction de transfert avec celle trouvée à la question 5 (fonction de transfert d'un moteur à courant continu seul), montrer que cette motorisation est équivalente à un monteur unique dont on précisera les paramètres K_{Eeq}, K_{teq}, R_{eq}, L_{eq}

Q10/ Tracer le schéma bloc avec K_{Eeq}, K_{teq}, R_{eq}, L_{eq}

Q11/ Mettre la relation de transfert sous la forme canonique suivante et donner les expressions littérales et numériques des différents paramètres.

$$\Omega = \underbrace{\frac{K_U}{1 + \dfrac{2\xi}{\omega_0}p + \dfrac{1}{\omega_0^2}p^2}}_{H_2(p)} U - \underbrace{\frac{K_{C_R}(1+Tp)}{1 + \dfrac{2\xi}{\omega_0}p + \dfrac{1}{\omega_0^2}p^2}}_{G_2(p)} C_R$$

Q12/ Donner l'allure de la courbe et définir le type de régime en prenant $C_R = 0$

Performances de la commande.

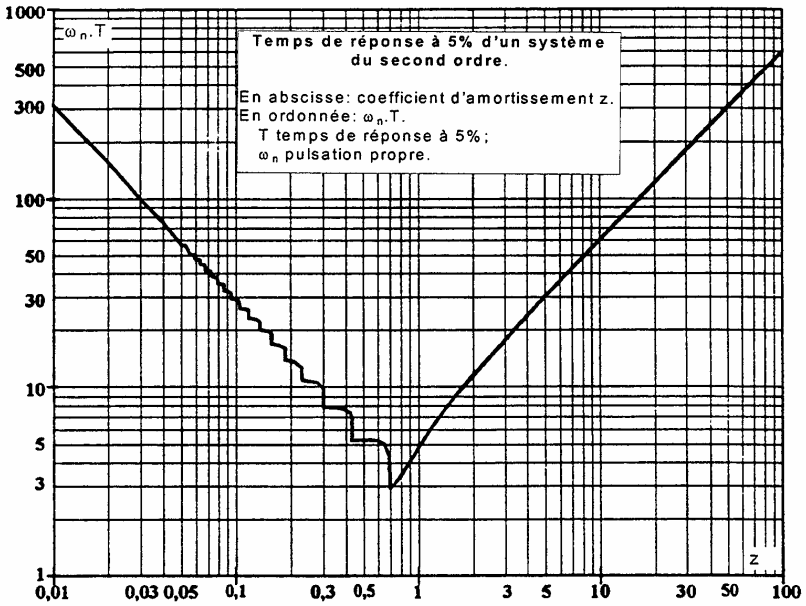
Le système étant soumis à un échelon de tension de valeur maximale,

Q13/ Calculer la vitesse de rotation limite théorique ω_∞, effectuer l'application numérique, commenter vis-à-vis du cahier des charges.

a. En négligeant le couple de frottement C_R.

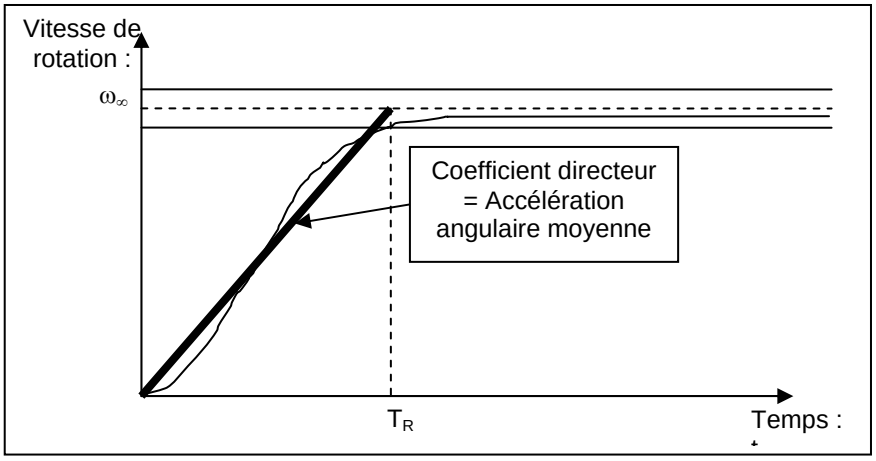
b. En modélisant le couple de frottement par un échelon $C_R(t)$ = 22200 Nm

Le diagramme suivant permet de définir le temps de réponse à 5% T_R d'un système du deuxième ordre en fonction des valeurs des paramètres caractéristiques ω_0 et ξ.



Q14/ Calculer le temps de réponse à 5 %, T_R

L'accélération angulaire moyenne peut être simplement calculée en utilisant le graphe des vitesses suivant :



Q15/ En déduire la valeur de l'accélération angulaire moyenne afin d'atteindre la vitesse maxi. Commenter vis-à-vis du cahier des charges.