

Prépa VAUBAN		Système TOP CHAIR	Prépa DS4
PTSI	P1/7		4h

Présentation du système

1. Mise en situation :

Plus d'autonomie pour plus de liberté !

Top Chair S offre aux personnes à mobilité réduite une nouvelle possibilité de se déplacer sans assistance à domicile, au travail ou en ville.

Ce fauteuil roulant électrique est capable de franchir obstacles et marches sans nécessiter l'installation d'une structure fixe.

Dans la plupart des cas, la présence d'un accompagnateur n'est pas nécessaire.

Une utilisation simple et confortable au quotidien : un seul bouton suffit pour passer du mode «route» au mode «escalier».

Top Chair S innove avec un double système de déplacement : sur ses roues en terrain plat et sur ses chenilles pour franchir des marches.

Les chenilles sont en caoutchouc avec une armature très résistante en acier.

Un asservissement de position qui permet de maintenir l'orientation du siège constante quelle que soit l'inclinaison de la chaussée.



2. Modes de fonctionnement

On distingue 3 modes principaux de fonctionnement que l'on peut sélectionner via le clavier de commande (voir le paragraphe 5) :

—un **mode route** où le fauteuil se comporte comme un fauteuil roulant classique, les roues arrière sont motrices, les changements de direction sont obtenus en faisant varier la vitesse de rotation des roues arrière gauche et droite, les deux roues folles à l'avant s'orientant dans la direction du virage (sélection avec **mR**);

—un **mode chenille** (ou chemin) où la puissance est dirigée sur les chenilles (mode utile pour se sortir des situations difficiles), les changements de direction sont obtenus en pilotant séparément chaque chenille (sélection avec **mC**);

—un **mode escalier** où le programme gère les actionneurs de façon à monter/descendre les escaliers (sélection avec **mE**)

A la mise en route du système (bouton **ON**), le fauteuil se met directement en mode route.

On peut ensuite passer du mode route au mode chenille, puis revenir au mode route ou passer du mode route au mode escalier et revenir au mode route.

Pour pouvoir éteindre le système il faut impérativement être en mode route et appuyer sur le bouton **OFF**.



Prépa VAUBAN		Système TOP CHAIR	Prépa DS4
PTSI	P2/7		4h

3. Diagramme des exigences

Les différentes exigences du système Top Chair sont données dans le diagramme des exigences en annexe A1.

4. Composition du système

L'annexe A2 propose une décomposition sous forme de diagramme de définition des blocs SysMI.

5. Interface homme-fauteuil

L'interface homme-machine est réalisée via le joystick de commande de direction et un clavier additionnel.

Sur le clavier de commande, on retrouve toutes les actions que peut effectuer le fauteuil :

- choisir le mode de fonctionnement (chenille, route ou escalier) ;
- rentrer et sortir les trains avant et arrière ;
- incliner et redresser le siège.

Le joystick de direction comporte un bouton marche/arrêt, un avertisseur sonore et 2 boutons permettant de choisir la vitesse max du véhicule.

Tous les paramètres du fauteuil (vitesse, accélération, vitesse de rotation...) sont configurables.

Le système dispose aussi d'un écran LCD qui permet de visualiser l'état du fauteuil et d'activer les différentes fonctions.



6. Le fauteuil et son environnement

Afin d'automatiser son fonctionnement dans les escaliers, le fauteuil a besoin de « voir » son environnement. En effet, pour actionner le train avant ou le train arrière, le fauteuil a besoin d'évaluer sa situation afin d'éviter les mauvaises manœuvres (comme sortir les trains dans les escaliers).

Pour ce faire, des capteurs infrarouges sont disposés de manière à détecter ces différentes situations (annexe A3-1).

Au vu des distances à mesurer, le choix s'est porté sur des capteurs SHARP (annexe A6).

L'orientation de ces capteurs est définie expérimentalement. Leur position permet de détecter au mieux les différentes situations.

La description et les schémas de l'annexe A3-2 présentent les différents capteurs mis en œuvre pour détecter le début et la fin de l'escalier en montée et en descente.

À ces capteurs de distance se rajoutent deux accéléromètres qui permettent de mesurer à chaque instant l'inclinaison (dans les trois directions) du châssis et du fauteuil.

7. Principe de la montée des marches

On distingue les étapes suivantes :

- positionner le fauteuil au pied de l'escalier, en marche arrière ;
- appuyer sur le bouton « escalier » : les roues avant sont escamotées et les chenilles deviennent motrices ;
- manipuler le joystick vers l'arrière : le système détecte la première marche (capteurs infrarouges), le fauteuil est alors en position, les roues arrière sont escamotées et la montée débute ;
- le palier supérieur est atteint : le système détecte la dernière marche (capteurs infrarouges), les roues arrière sont abaissées pour stabiliser le fauteuil et le fauteuil continue la montée à l'aide des chenilles ;
- sur le palier supérieur, retour au mode « route » : les roues avant sont abaissées et les roues arrière redeviennent motrices ;
- pendant toute la montée, le siège reste horizontal.



Prépa VAUBAN		Système TOP CHAIR	Prépa DS4
PTSI	P3/7		4h

1. Etude du fonctionnement séquentiel du système

Q1 : En vous servant du paragraphe 2 de la page 1, compléter le diagramme d'état qui décrit le fonctionnement du TopChair sur le DR. Vous indiquerez les **états** ainsi que les **événements** qui permettent de passer d'un état à un autre **mais ne préciserez pas** les activités ou actions dans les états.

2. Gestion de la détection des marches

Objectif : Il s'agit ici de valider le choix du capteur d'obstacle et de valider la chaîne d'acquisition réalisée par le convertisseur analogique-numérique intégré au microcontrôleur.

Exigences liées à l'exigence 1.3.3 :

- Le système doit être capable de détecter un obstacle (marche) dans l'intervalle 20 cm - 60 cm,
- La précision attendue doit être inférieure à 1 cm.

2.2.1. Etude du capteur de distance

Tous les capteurs de distance utilisés sont identiques, de marque SHARP et de référence GP2Y0A21YK0F (annexe A6)

Q2 : Donner les caractéristiques du capteur : le type de rayon émis, la tension d'alimentation recommandée, le temps maximum (T_m) entre deux mesures.
En déduire la fréquence minimale (f_m) de prise d'échantillons.

Q3 : Préciser le type de signal fourni par le capteur. En déduire la fonction nécessaire au traitement de cette information par le microcontrôleur.

Q4 : 4a : Donner la tension fournie par le capteur pour une distance mesurée de 4 cm, 9 cm, 15 cm, 30 cm et 60 cm. Que constatez-vous ?
4b : Préciser la plage de mesure du capteur donnée dans l'annexe A6 et justifier cette plage au regard de la courbe (et donc à la constatation de la question 4a)
4c : Conclure sur la capacité des capteurs à détecter les marches.

2.2.2. La chaîne d'acquisition

Le microcontrôleur utilisé sur le fauteuil a pour référence MC9S12DP256 (MCU), de chez Motorola, il gère tout le système.

Il comporte entre autre, une unité de traitement de 16 bits et deux convertisseurs analogiques numériques. Le convertisseur intégré est configurable, les tensions d'entrée mini (V_{RL}) et maxi (V_{RH}) du convertisseur ainsi que la résolution (**8 ou 10 bits**) sont réglables.

Pour notre étude on prendra $V_{RL} = 0V$ et $V_{RH} = V_{PE} = 5,12V$ (tension pleine échelle).

Pour le codage sur 10 bits des nombres, celui-ci est réalisé sur un mot de 16 bits avec une justification à gauche, ainsi dans l'exemple ci-dessous où la valeur binaire sur 10 bits est mémorisée en complétant à droite par 6 zéros.

%0101010101	1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 0 0 0 0 0	5540h
mot binaire sur 10 bits	mot complété à droite par 6 bits	code hexadécimal

Q5 : Montrer que la valeur du quantum pour un codage sur 8 bits est $q_8 = 0,02V$ et sur 10 bits $q_{10} = 0,005V$.

Prépa VAUBAN		Système TOP CHAIR	Prépa DS4
PTSI	P4/7		4h

Q6 : Compléter le tableau du document réponse :

- compléter la 2^{ème} colonne (tension) à l'aide de la courbe de l'annexe A6 (arrondir à 0,1 près)
 - calculer la valeur décimale en sortie du CAN pour un codage 8 bits et compléter la 3^{ème} colonne
 - coder cette valeur en binaire puis en hexadécimal pour compléter les colonnes 4 et 5
 - calculer la valeur décimale en sortie du CAN pour un codage 10 bits et compléter la 6^{ème} colonne
 - coder cette valeur en binaire puis en hexadécimal pour compléter les colonnes 7 et 8
- (attention, pour la résolution 10bits, bien lire le bas de la page précédente)**

Q7 : Déterminer la précision du capteur (écart minimum détectable par le capteur en cm) pour chacun des deux codages lorsque l'obstacle est dans la plage 20-60cm.

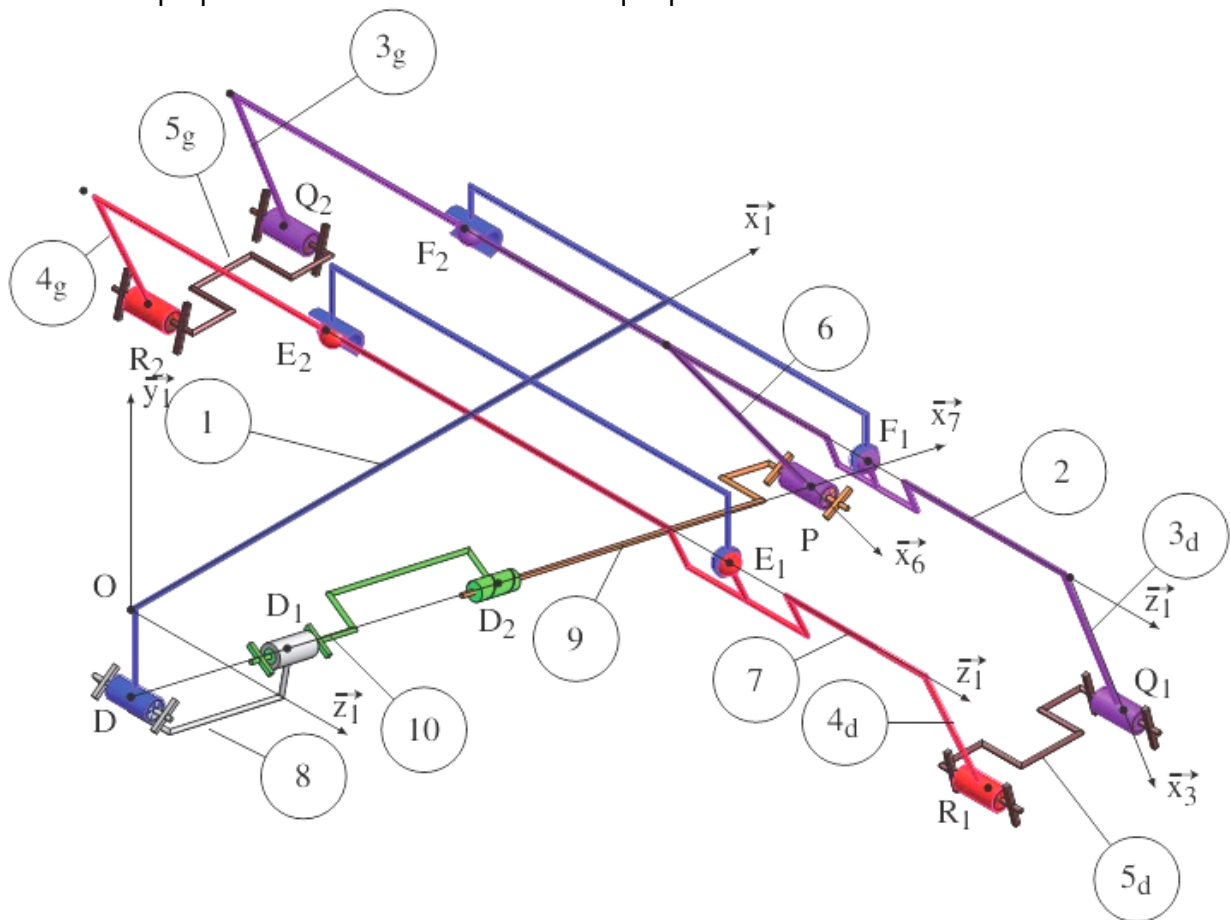
Q8 : Le capteur choisit permet-il de respecter les exigences énoncées page précédente ? (vous parlerez aussi du choix du codage à utiliser, 8 ou 10bits ?)

3. Etude de l'escamotage des roues avant

Objectifs : *Etudier la structure cinématique du mécanisme de basculement du train avant*
Calculer la vitesse de sortie de tige du vérin et valider ce choix d'un point de vue cinématique

3.1. Analyse de la structure cinématique

L'annexe A4 présente le plan du mécanisme de basculement du train avant et l'annexe A5, le modèle 3D. La représentation est limitée à la partie avant du châssis et au mécanisme de basculement sans les roues. La figure ci-contre propose une modélisation cinématique pour ce mécanisme.



On note :

- C2, la classe d'équivalence cinématique composée des solides {2, 3d, 3g, 6} ;
- C7, la classe d'équivalence cinématique composée des solides {7, 4d, 4g}.
- Les solides, 8, 9 et 10 modélisent, de manière simple, le vérin électrique.

Q9 : À partir du schéma précédent et du graphe des liaisons du document réponse, compléter les liaisons L1a, L1b, L2, L3, L4 et L5 (avec centres et axes)

3.2. Calcul de la vitesse de sortie de tige

Le vérin électrique utilisé est un CALA 36 de chez SKF

Sa chaîne d'énergie est :

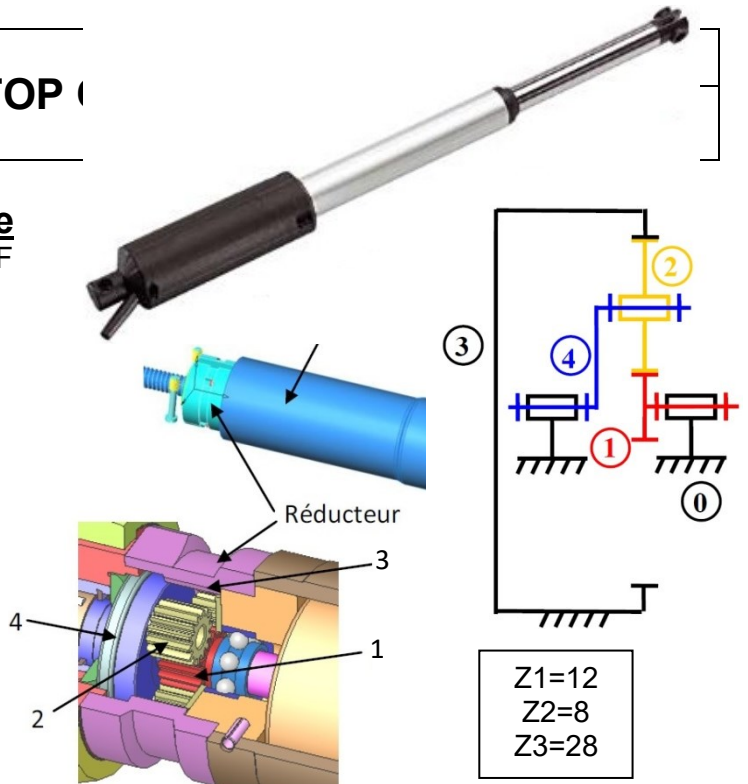
Moteur-Réducteur-Système vis/Ecrou

Le réducteur est un réducteur à train épicycloïdal, il est décrit ci-contre :

Q10 : Nommer les éléments 1, 2, 3 et 4 du train épicycloïdal avec la terminologie adaptée.

Q11 : Exprimer puis calculer le rapport de réduction $K = \frac{\omega_{4/0}}{\omega_{1/0}}$ de ce réducteur.

Q12 : Sachant que le pas du système vis/écrou est $p=6\text{mm}$ et que le moteur tourne à $\omega_{1/0}=1200\text{tr/min}$, exprimer puis calculer la vitesse de sortie de tige du vérin électrique que l'on notera V_T .



3.3. Validation du vérin

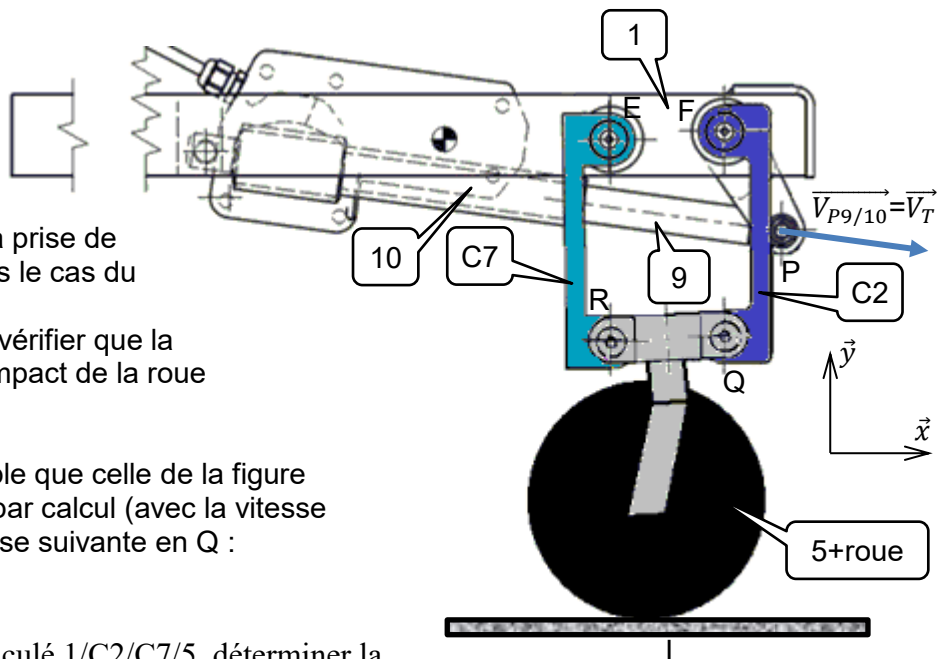
L'image ci-contre montre l'instant de la prise de contact de la roue avec le sol en I dans le cas du déploiement.

Pour répondre aux exigences, on doit vérifier que la composante verticale de la vitesse d'impact de la roue sur le sol ne dépasse pas $0,2\text{m/s}$

Dans une configuration plus défavorable que celle de la figure (en début de déploiement), on trouve par calcul (avec la vitesse de sortie de tige calculée Q12) la vitesse suivante en Q :

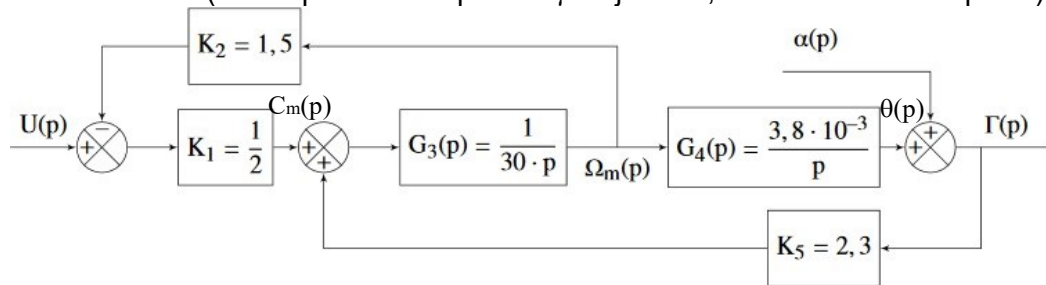
$$\vec{V}_{Q,C2/1} = -16\vec{x} - 156\vec{y} \text{ (en mm/s)}$$

Q13 : En analysant le mécanisme articulé 1/C2/C7/5, déterminer la nature du mouvement de 5+roue /1 et montrer que $\vec{V}_{I,5+R/1} = \vec{V}_{Q,C2/1}$. Conclure alors sur le respect de l'exigence.



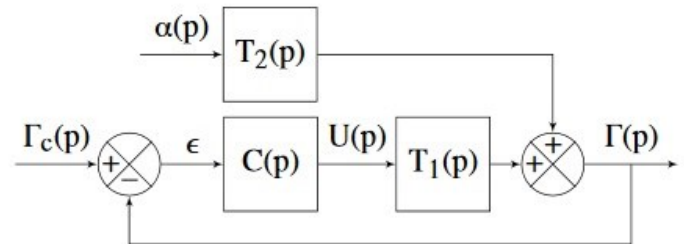
Prépa VAUBAN		Système TOP CHAIR	Prépa DS4
PTSI	P7/7		4h

Compte tenu des différentes dimensions, des caractéristiques du moteur et de diverses simplifications, nous admettrons, pour la suite, que le schéma bloc qui décrit le pilotage du système par le moteur à courant continu est celui donné ci-dessous : (remarque Γ correspond à γ majuscule, car on est dans Laplace)



Q20 : Déterminer la fonction de transfert $T_1(p) = \frac{\Gamma(p)}{U(p)}$ en fonction de $K_1, K_2, G_3(p), G_4(p)$ et K_5 en prenant comme hypothèse $\alpha(p)=0$

Finalement, l'asservissement de position est décrit par le schéma bloc ci-contre, avec $\Gamma_c(p)$ la consigne d'inclinaison du siège par rapport à l'horizontale, $\alpha(p)$ l'inclinaison du fauteuil et $C(p)$ le correcteur.



On donne les fonctions de transfert (les valeurs numériques sont fortement arrondies pour faciliter les calculs) :

$$T_1(p) = \frac{6 \cdot 10^{-5}}{p^2 + 2 \cdot 10^{-2} \cdot p - 3 \cdot 10^{-4}}$$

$$T_2(p) = \frac{p^2 + 2 \cdot 10^{-2} \cdot p}{p^2 + 2 \cdot 10^{-2} \cdot p - 3 \cdot 10^{-4}}$$

Les exigences relatives à l'exigence 1.1.4. sont :

Exi 1 : La position angulaire du fauteuil doit être précise à 10% près

Exi 2 : Le fauteuil ne doit pas osciller autour de sa position finale mais on admet un dépassement de 5% max

Dans un premier temps, on choisit un correcteur proportionnel : $C(p) = K_r$

Q21 : Déterminer la fonction de transfert $F_1(p) = \frac{\Gamma(p)}{\Gamma_c(p)}$ sans tenir compte de la perturbation ($\alpha(p)=0$) et mettre cette fonction sous sa forme canonique.

Q22 : Pour cette fonction, déterminer le gain statique K_s , la pulsation propre ω_n et le facteur d'amortissement z .

On se place dans les conditions suivantes :

Le fauteuil est à l'arrêt dans l'escalier, le siège est à l'horizontale $\gamma=0$, l'utilisateur souhaite légèrement incliner le siège et impose une consigne d'inclinaison : $\gamma_c = \gamma_0 \neq 0$

Q23 : A l'aide du théorème de la valeur finale, exprimer l'erreur statique $\mathcal{E}_\infty$ (avec $\mathcal{E}(t) = \gamma_c(t) - \gamma(t)$) en réponse à l'échelon de consigne γ_c en fonction de K_r .

Pour quelles valeurs de K_r , l'erreur relative $\left| \frac{\mathcal{E}_\infty}{\gamma_0} \right|$ est-elle inférieure à 10 % ?

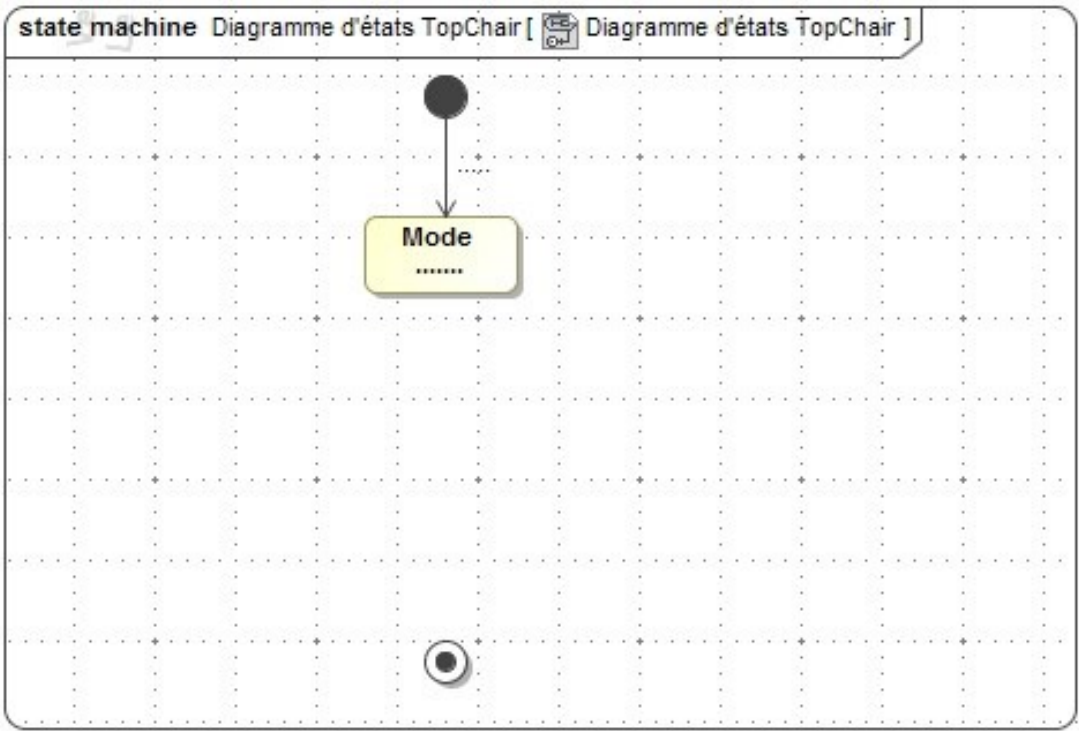
Q24 : Donner la valeur de z qui permet de respecter la 2^{ème} exigence en étant le plus rapide possible. Calculer alors la valeur de K_r .

Q25 : Conclure sur le choix d'un correcteur proportionnel en discutant des résultats des Q28 et 29.

Qbonus : Déterminer la fonction de transfert $T_2(p) = \frac{\Gamma(p)}{\alpha(p)}$ en fonction de $K_1, K_2, G_3(p), G_4(p)$ et K_5 en prenant comme hypothèse $U(p)=0$

Déterminer la fonction de transfert $F_2(p) = \frac{\Gamma(p)}{\alpha(p)}$ sans tenir compte de la consigne ($\Gamma_c(p)=0$) et mettre cette fonction sous sa forme canonique.

Q1 :

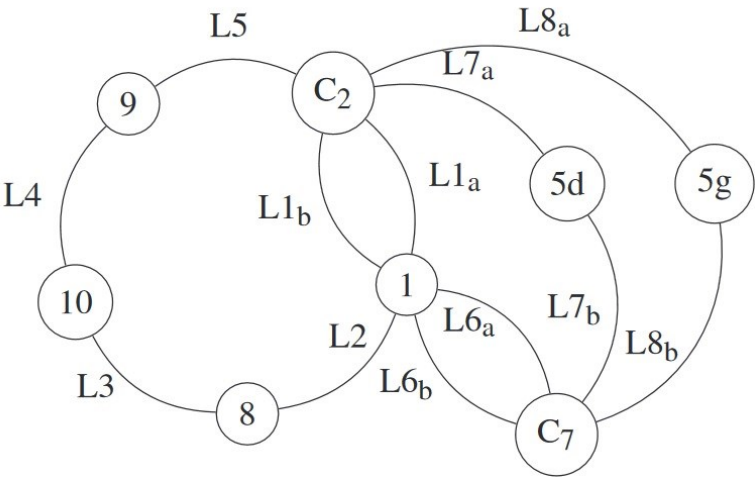


Q6 :

Distance	Tension Sortie capteur	Valeur decimale 8bits	Code binaire 8-bits	Code hexa 8-bits	Valeur decimale 10-bits	Code binaire 10-bits	Code hexa 10-bits
30cm							
15cm							

Q9 :

Identification des liaisons :



- L1a :
- L1b :
- L2 :
- L3 :
- L4 :
- L5 :
- L6a : Rotule de centre E₁
- L6b : Lin. annulaire d'axe (E₂, $\vec{z_1}$)
- L7a : Pivot d'axe (Q₁, $\vec{z_1}$)
- L7b : Pivot d'axe (R₁, $\vec{z_1}$)
- L8a : Pivot d'axe (Q₂, $\vec{z_1}$)
- L8b : Pivot d'axe (R₂, $\vec{z_1}$)