

Manège Nautilus

PRESENTATION

Pour célébrer l'année Jules VERNE, la société CONCEPT 1900 INTERNATIONAL a créé des éléments de manège de type carrousel inspirés des romans de l'auteur (montgolfière, sous-marin, biplan, fusée).

Pour rendre les manèges plus attractifs, certains éléments sont posés sur un élévateur.

Le sujet le plus lourd est celui représentant le vaisseau du capitaine NEMO, le NAUTILUS. Il a une masse propre de 116 Kg et peut accueillir 6 enfants.

L'élévateur révèle, à l'usage, quelques faiblesses :

- instabilité des éléments chargés d'enfants,
- difficultés pour soulever l'élément NAUTILUS avec 6 enfants à bord, soit une masse totale de 422 Kg.

Une étude dont l'objectif est d'éliminer ces deux défauts a conduit au modèle présenté ci-dessous.

CARACTERISTIQUES TECHNIQUES DE LA CENTRALE HYDRAULIQUE RETENUE

Pompe à engrenage :

- Cylindrée : $0,75 \text{ cm}^3$
- Débit : 3,74 litres/min

Pression de tarage : 150 bars

CARACTERISTIQUES DU VERIN

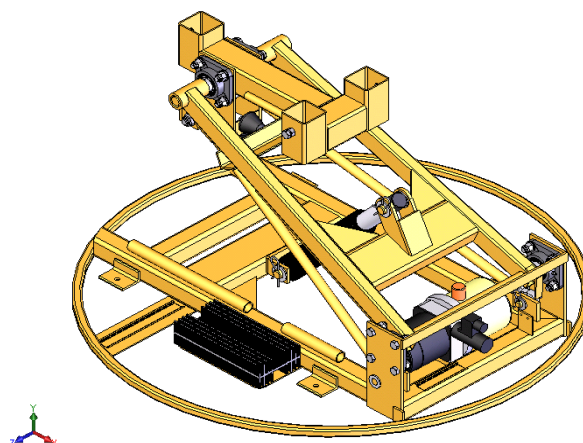
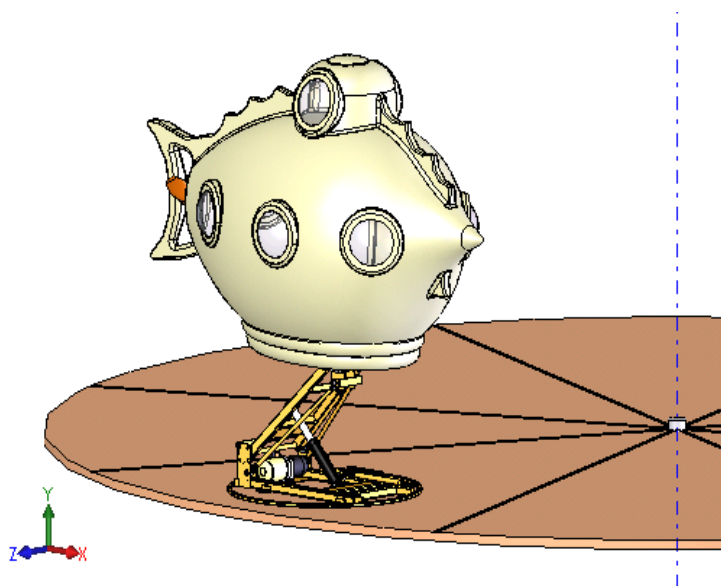
Diamètre piston : 40 mm

Course : 190 mm

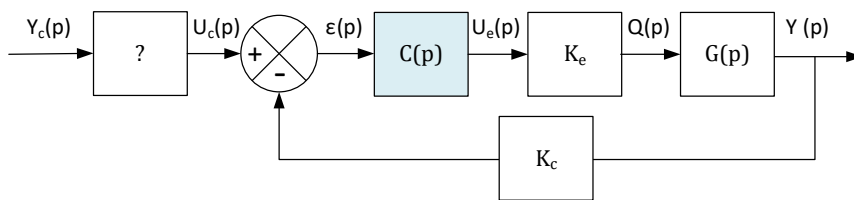
CAHIER DE CHARGES

La position par rapport au sol du nautilus est notée $y(t)$, est fonction du débit d'huile, noté $q(t)$, à l'entrée de la chambre d'admission du vérin.

Assurer le positionnement en hauteur du nautilus	Temps de réponse à 5%	Optimum
	Ecart de trainage (entrée en rampe)	Nul
	Marge de phase	45°



SCHEMA BLOC DE L'ASSERVISSEMENT

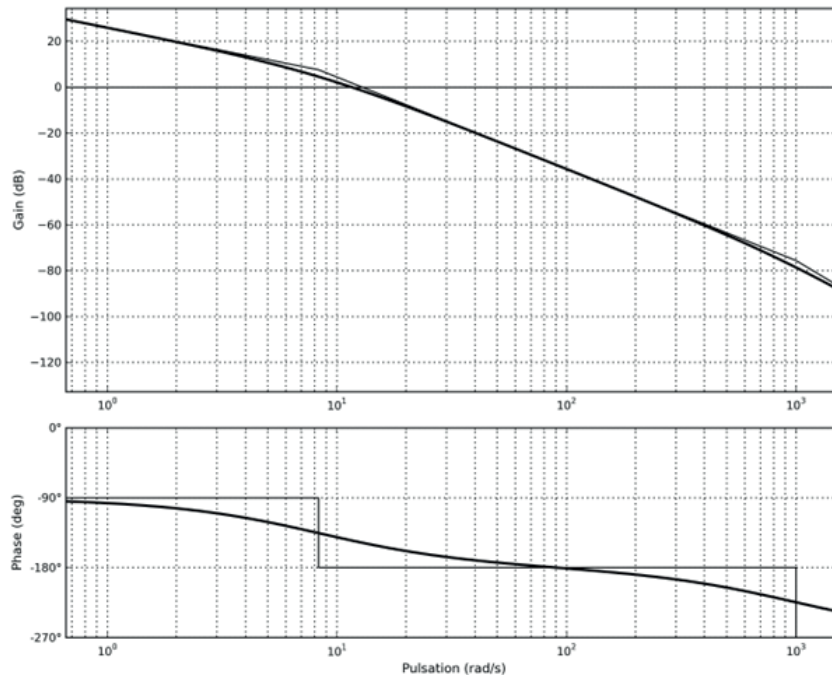


Avec :

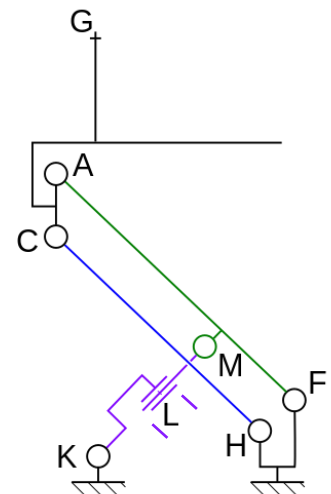
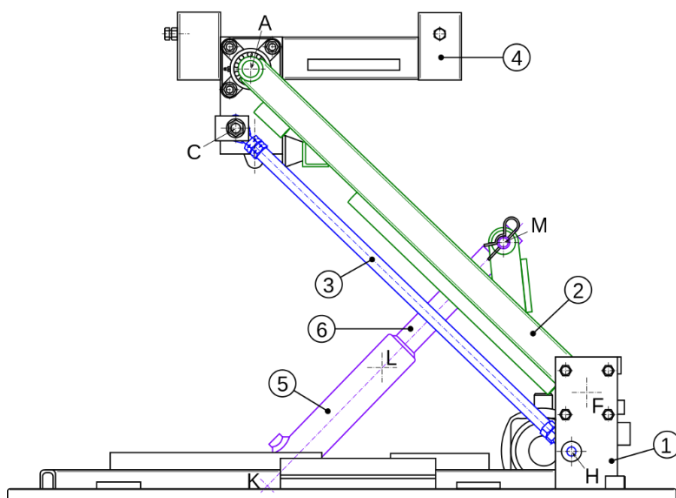
$C(p)$ un correcteur à choisir
 $K_e = 2 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/(\text{sV})$

$K_c = 10^3 \text{ V/m}$

DIAGRAMME DE BODE DE $G(p)$



VUE DE COTE ET SCHEMA CINEMATIQUE MINIMAL

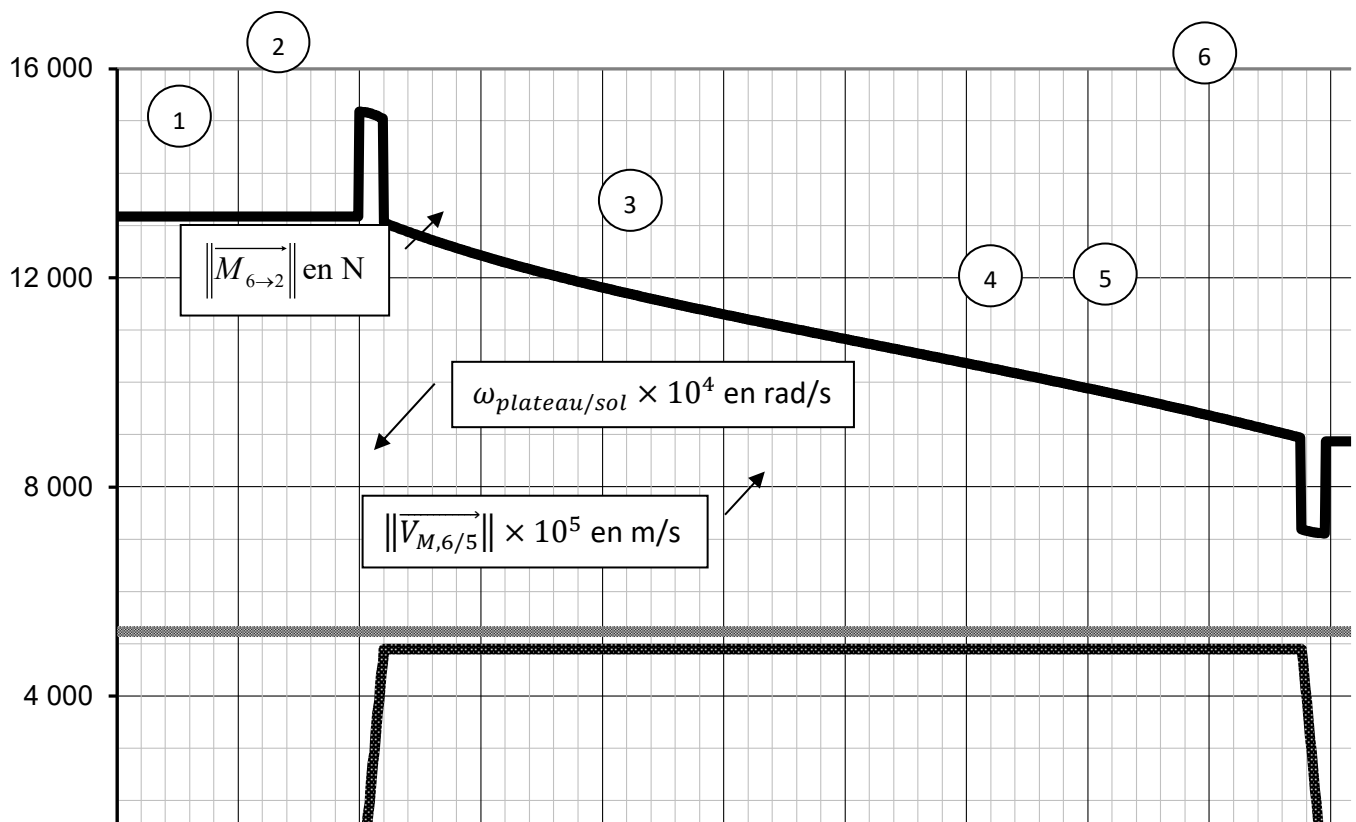


Un vérin hydraulique 5+6 exerce une action mécanique sur le bras 2.

L'horizontalité de l'élément de manège est obtenue par un parallélogramme déformable composé d'une embase élévateur 1, du bras élévateur 2, du support sujet 4 (de centre de gravité G), des bielles 3.

Variations en fonction du temps :

- du module de la résultante de l'action mécanique en M de la tige de vérin 6 sur le bras 2 ;
- de la vitesse angulaire du plateau par rapport au sol ;
- du module de la vitesse en M de la tige de vérin 6 par rapport au corps de vérin 5.



TRAVAIL DEMANDE

Pour les 2 objectifs suivants, on vous demande de :

1. présenter une démarche permettant de résoudre le problème ;
2. en suivant les indications de l'examineur, développer tout ou partie de votre démarche.

Objectif 1

Décrire et justifier les différentes phases et allures observées sur les courbes entre 0 et 5s puis les utiliser pour vérifier la compatibilité du groupe hydraulique proposé.

Objectif 2

Proposer une démarche pour asservir en position verticale $y(t)$ le nautilus.

Objectif 1

Décrire et justifier les différentes phases et allures observées sur les courbes entre 0 et 5s puis les utiliser pour vérifier la compatibilité du groupe hydraulique proposé.

Concernant la courbe de déplacement :

- 0-1s / Phase 1 : Rotation de la nacelle à une vitesse de rotation de $5200/104 \text{ rd/s} = 0,52 \text{ rd/s}$
La nacelle est en position basse
- 1-1,1s / Phase 2 : en plus de la rotation à vitesse constante, c'est le début de la montée de la nacelle avec une accélération de la tige du vérin de: $(5000/105)/0,1 \text{ m/s}^2 = 0,5 \text{ m/s}^2$
- 1,1-4,9s / Phase 3 : la rotation à vitesse constante, et la montée de la nacelle, à vitesse constante de la tige du vérin
- 4,9-5s / Phase 5 : la rotation de la nacelle toujours, en plus le freinage de la montée avec une décélération : $-0,5 \text{ m/s}^2$. La nacelle est dans une position haute.

Sur la course du vérin :

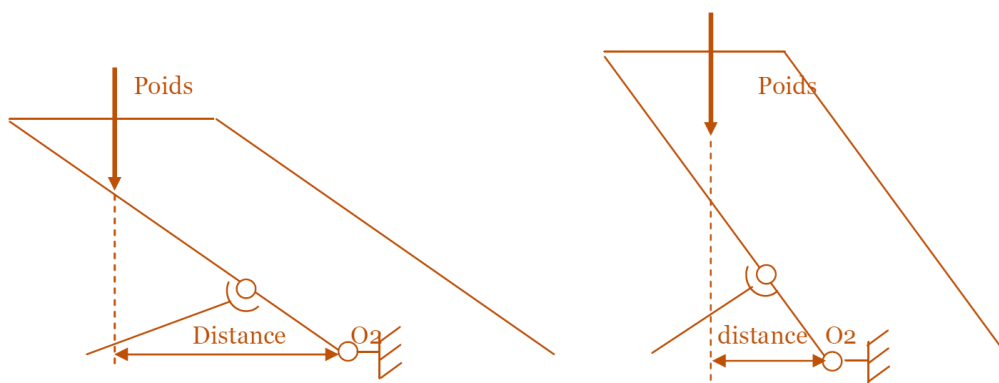
$$3.9 \frac{5000}{10^5} = 0,195 \text{ m} > 190 \text{ mm de course du vérin annoncé}$$

Concernant la courbe en effort :

Les variations de l'effort dans les phases 2 et 4 sont dues à l'accélération de la tige du vérin

Pour la phase 3 : au cours de la sortie de la tige du vérin (à vitesse constante), la nacelle monte et par suite la position de son centre d'inertie G se déplace, ce qui entraîne une diminution du moment de la pesanteur par rapport au point O₂, donc l'effort exercé par le vérin, qui entraîne le déplacement de la nacelle, diminue.

A cause de la non-linéarité de la loi cinématique il est difficile de démontrer proprement l'évolution obtenue sur cette phase.



Sur la pression d'alimentation :

$$p_{Max} = \frac{\|M_{6 \rightarrow 2}\|_{Max}}{S} = \frac{\|M_{6 \rightarrow 2}\|_{Max}}{\pi R^2} = \frac{15000}{\pi 40^2} = \frac{2,98 \text{ N}}{\text{mm}^2} = 30 \text{ bars} < 150 \text{ Cdcf}$$

Le groupe hydraulique est donc bien adapté

Remarque : beaucoup de données ne semblent pas utiles...

Objectif 2

Proposer une démarche pour asservir en position verticale $y(t)$ le nautilus.

1. Compléter le ? du schéma bloc

Le système est correctement asservi en hauteur si $\varepsilon(p) = 0$ quand $Y_c(p) = Y(p)$

D'où $U_c(p) - U_m(p) = 0$

? $Y_c(p) - K_c Y(p) = 0$

Donc ? = K_c

2. Proposer un modèle pour $G(p)$

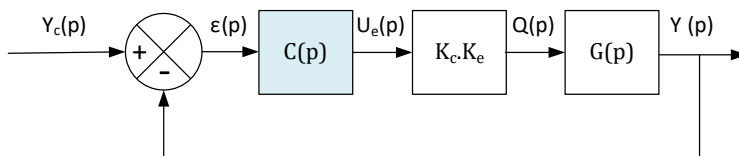
La phase commence à -90° et le gain avec une pente de -20dB/décade . Il y a donc présence d'un intégrateur de la forme $\frac{K}{p}$. Il coupe $G_{db} = 0$ en $\omega = K = 20$.

La phase présente deux cassures de -90° à $\omega_{c1} = 8.5 \text{ rad/s}$ et $\omega_{c2} = 1000 \text{ rad/s}$, cohérentes avec les deux ajouts de -20 dB/décade . L'intégrateur est donc associé à un second ordre factorisable sous la forme de deux premiers ordres ($\zeta \geq 1$)

On en déduit que $G(p) = \frac{20}{p(1+\frac{1}{8.5}p)(1+\frac{1}{1000}p)} = \frac{20}{p(1+0.12p)(1+1.10^{-3}p)}$

3. Déterminer un correcteur permettant de vérifier le cahier des charges

Par manipulation de schémas blocs :



Méthode 1 : $FTBO_{NC}(p) = K_e \cdot K_c \cdot G(p) = \frac{K_e \cdot K_c \cdot 20}{p(1+0.12p)(1+1.10^{-3}p)}$ de classe 1

D'après le tableau du cours, pour une entrée en rampe, l'erreur est nulle si la classe de la FTBO est de 2.

Méthode 2 : $FTBF(p)$ et théorème de la valeur finale

Il faut donc rajouter un correcteur de type intégrateur. On propose un correcteur PI car il influe moins sur la rapidité et la stabilité qu'un intégrateur pur.

Soit $C(p) = K_p \frac{1+\tau_i p}{\tau_i p}$

Première idée par compensation de pôles :

D'où $FTBO_c(p) = K_p \frac{1+\tau_i p}{\tau_i p} \frac{K_e \cdot K_c \cdot 20}{p(1+0.12p)(1+1.10^{-3}p)}$

On choisit $\tau_i = \max(\tau_k) = \tau_{c1} = 0,12$

D'où $FTBO_c(p) = K_p \frac{1}{0,12 \cdot p} \frac{K_e \cdot K_c \cdot 20}{p(1+1.10^{-3}p)}$ et $FTBF_c(p) = \frac{FTBO_c(p)}{1+FTBO_c(p)}$

Problème la phase commencerait à -180 pour ensuite descendre. Le système serait donc instable.

Deuxième idée par placement fréquentiel :

Le diagramme de Bode de la BO_{NC} est donc celui de $G(p)$ translaté de $20 \log(K_e \cdot K_c) = -14 \text{ dB}$

On commence par régler le correcteur proportionnel pour avoir la marge de phase souhaitée.

La phase doit valoir -135° ($M_\phi = 45^\circ$) en $\omega = \omega_{c1} = 8,5 \text{ rad/s}$

Graphiquement on observe que $G(p)$ a un gain d'environ 2dB en $\omega_{c1} = 8,5 \text{ rad/s}$. On a donc

Il faut donc remonter la courbe de 12db soit $Kp = 10^{\frac{12}{20}} \approx 4$

Ensuite, on règle Ki pour ne pas atténuer le gain à $\omega_{c1} = 8,5 \text{ rad/s}$ (cela afin de ne pas dégrader la marge de phase réglée juste avant). Pour optimiser la rapidité on choisit généralement la cassure du PI une décade avant la pulsation de réglage de la marge de phase, même si cela diminuera la marge de phase de 5.7 degrés.

La cassure de notre PI est en $\omega = \frac{1}{\tau_i} = \frac{\omega_{c1}}{10}$ soit $\tau_i = 0.85s$

D'où $FTBO_c(p) = 4 \frac{1+0.85 p}{0.85 p} \frac{0.2.20}{p.(1+0.12p)(1+1.10^{-3}p)}$ et $FTBF_c(p) = \frac{FTBO_c(p)}{1+FTBO_c(p)}$

Diagramme de Bode de $FTBO_c(p)$

