

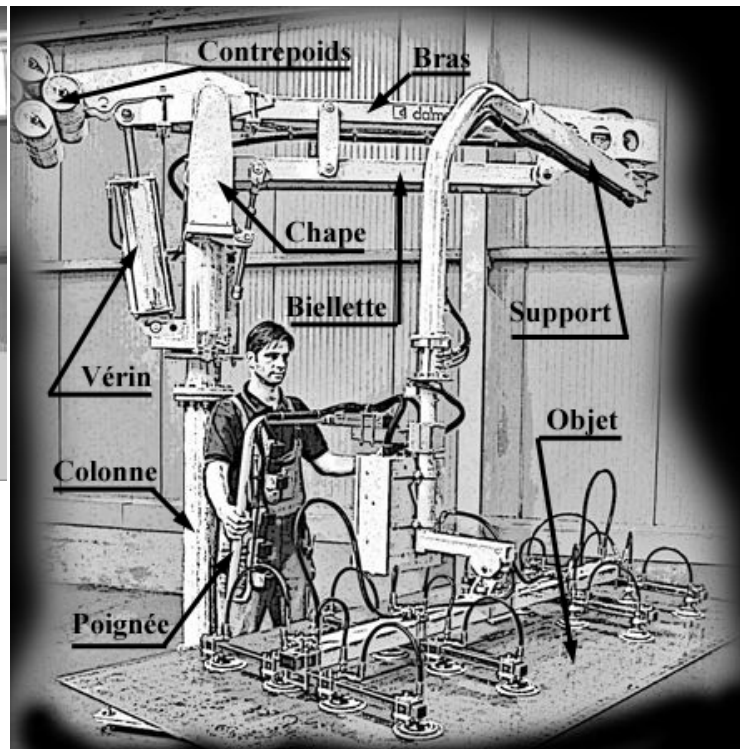
TD1 : Manipulateur industriel

Présentation du système

Mise en situation



Dans l'industrie de nombreux postes de travail ne sont pas automatisés. C'est pourquoi pour la manipulation d'objets lourds, on fait appel à des manipulateurs qui permettent de soulever et déplacer manuellement des objets sans avoir à faire d'effort physique important.



Description

Le manipulateur étudié est constitué d'une colonne fixée au sol sur laquelle pivote verticalement une chape. Sur cette chape pivote horizontalement le bras 1 à l'extrémité duquel est articulé le support 2 de l'outil qui saisie l'objet à manipuler 7. L'orientation du support 2 est maintenue par les biellettes 3.

Les contrepoids 6 permettent de maintenir l'équilibre de l'ensemble lorsqu'aucun objet n'est saisi et que le vérin {4,5} n'est pas alimenté. Le vérin {4,5} permet lui de maintenir l'équilibre de l'ensemble lorsqu'un objet est saisi par l'outil.

Objectif du problème

Pour ce problème on se fixe trois objectifs.

- ☞ Déterminer la masse m_6 des contrepoids qui permettent de maintenir l'équilibre lorsqu'aucun objet n'est fixé sur le support 2.
- ☞ Déterminer la pression p alimentant le vérin pneumatique {4,5} et permettant de maintenir l'ensemble en équilibre lorsque l'on fixe un objet 7 sur le support 2.
- ☞ Déterminer l'effort que doit appliquer l'opérateur sur la poignée pour obtenir une accélération angulaire donnée du bras 1.

Hypothèses

- ☞ On se limite à un problème plan. On suppose donc que la chape et la colonne ne constituent qu'une seule et même pièce correspondant au bâti 0. D'autre part le support 2 et l'objet à saisir 7 restent dans le même plan vertical que celui contenant l'ensemble bras, biellette et vérin.
- ☞ On néglige le poids et l'inertie du vérin, mais pas des autres pièces. Toutes les liaisons sont parfaites.
- ☞ La pression p à l'intérieur du vérin exerce deux forces $\vec{F}_{air/4} = p.S. \vec{Y}_0$ et $\vec{F}_{air/5} = -p.S. \vec{Y}_0$ appliquées respectivement en I et J. S étant la surface active du vérin pneumatique.

Modélisation du système

On pose :

$$R_0 = (A, \vec{X}_0, \vec{Y}_0, \vec{Z}_0)$$

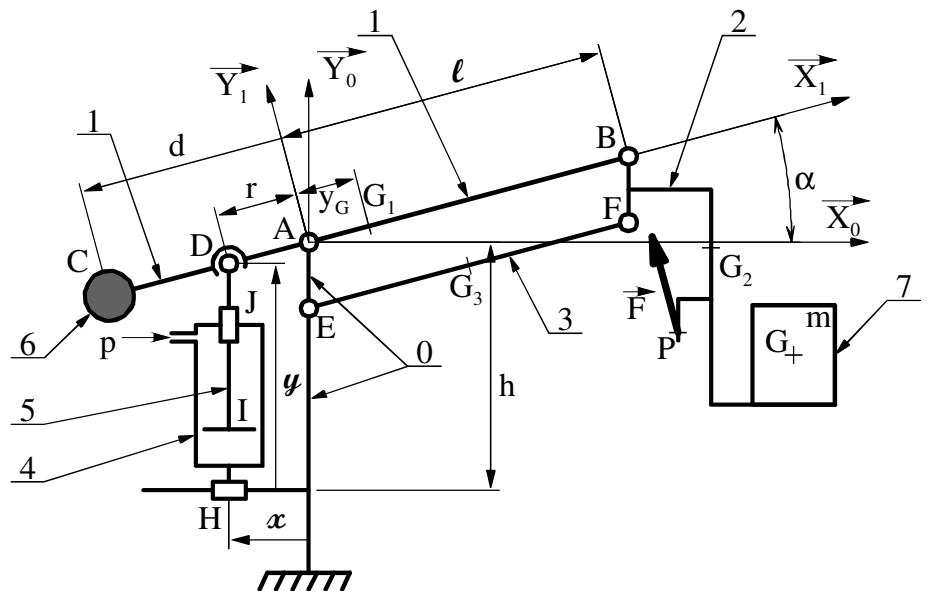
le repère lié au bâti 0

$$R_1 = (A, \vec{X}_1, \vec{Y}_1, \vec{Z}_1)$$

le repère lié au bras 1.

Le bras 1 est en liaison pivot d'axe $(A, \vec{Z}_0) = (A, \vec{Z}_1)$ sur le bâti 0.

Le support 2 est en liaisons pivot d'axe $(B, \vec{Z}_0) = (B, \vec{Z}_1)$ sur le bras 1.



Les biellettes 3 articulées en E sur le bâti 0 et en F sur le support 2 maintiennent l'orientation du support 2. Ces articulations sont des liaisons pivots d'axes $(E, \vec{Z}_0) = (E, \vec{Z}_1)$ et $(F, \vec{Z}_0) = (F, \vec{Z}_1)$. $AB = AF = \ell$ et $AE = BF$, donc le quadrilatère ABFE est un parallélogramme déformable.

Un vérin {4,5} qui est constitué d'un corps 4 en liaison glissière avec le bâti 0 d'axe $(H, \vec{X}_0)$ et d'une tige 5 en liaison rotule de centre D sur le bras 1, permet de maintenir l'ensemble support 2 + objet 7 en équilibre sans action de l'opérateur sur le support 2. Ce vérin est alimenté par sa chambre avant en air comprimé à la pression p.

L'objet à manipuler 7 est fixé sur le support 2.

Un contrepoids 6 est fixé en C sur le bras 1

Hypothèses, paramétrage et dimensions du mécanisme

On donne les paramètres α , x et y définissant la position des pièces du mécanisme. On a :

$$\alpha = (\vec{X}_0, \vec{X}_1) = (\vec{Y}_0, \vec{Y}_1)$$

$$\vec{AH} = x \cdot \vec{X}_0 - h \cdot \vec{Y}_0$$

$$\vec{HD} = y \cdot \vec{Y}_0$$

Le bras 1 a une masse m_1 et un centre de gravité G_1 . Il est assimilé à une barre de longueur $(\ell + d)$. Le contrepoids 6 fixé en C à l'extrémité du bras 1 est assimilé à une masse ponctuelle m_6 . Les dimensions du bras 1 sont telles que : $\vec{AB} = \ell \cdot \vec{X}_1$; $\vec{AC} = -d \cdot \vec{X}_1$; $\vec{AD} = -r \cdot \vec{X}_1$ et : $\vec{AG}_1 = y_G \cdot \vec{X}_1 = \frac{\ell - d}{2} \cdot \vec{X}_1$

La biellette 3 a une masse m_3 et peut être assimilée à une barre de longueur $\ell = EF$. Le centre de gravité G_3 de cette biellette est situé au milieu de celle-ci : $\vec{EG}_3 = \frac{\ell}{2} \cdot \vec{X}_1$

Le support 2 a une masse m_2 et un centre de gravité G_2 . L'objet à manipuler 7 qui est fixé sur le support 2, a une masse m et un centre de gravité G .

Travail demandé**1- Cinématique.**

1.1 Justifier que : $\vec{\Omega}_{1/0} = \vec{\Omega}_{3/0} = \dot{\alpha} \cdot \vec{Z}_1$ et : $\vec{\Omega}_{2/0} = \vec{\Omega}_{4/0} = \vec{\Omega}_{5/0} = \vec{0}$

1.2- Par la fermeture géométrique du cycle 0-4-5-1-0, Déterminer deux relations liant α , x et y .

1.3- Déterminer les expressions en fonction de $\dot{\alpha}$ des vecteurs vitesse suivant : $\vec{V}_{C \in 1/0}$, $\vec{V}_{D \in 1/0}$, $\vec{V}_{I \in 5/0}$, $\vec{V}_{G1 \in 1/0}$, $\vec{V}_{G2 \in 2/0}$, $\vec{V}_{G3 \in 3/0}$ et $\vec{V}_{G \in 7/0}$ dans R_1 et $\vec{V}_{D \in 5/4}$, $\vec{V}_{H \in 4/0}$ et $\vec{V}_{J \in 4/0}$ dans R_0 .

2- Géométrie des masses

2- On note I_{1AZ} le moment d'inertie du bras 1 par rapport à l'axe $(A, \vec{Z}_1)$, I_{6AZ} le moment d'inertie du contrepoids 6 par rapport à l'axe $(A, \vec{Z}_1)$ et I_{3EZ} le moment d'inertie de la biellette 3 par rapport à l'axe $(E, \vec{Z}_1)$. Donner les expressions de ces trois moments d'inertie en fonction de ℓ , d , m_1 , m_3 , et m_6 .

3- Equation différentielle du mouvement du manipulateur industriel

3.1- L'opérateur exerce sur la poignée du support 2 une force $\vec{F} = F \cdot \vec{Y}_1$ appliquée au point P de la poignée 2. Réaliser un graphe de structure (graphe des actions) du manipulateur industriel. On notera $\vec{P}_1$, $\vec{P}_2$, $\vec{P}_3$, $\vec{P}_6$ et $\vec{P}$ les vecteurs forces modélisant les poids des pièces 1, 2, 3, 6 et 7

3.2- On pose le système Σ constitué des solides $\{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7\}$. Déterminer l'énergie cinétique de ce système Σ par rapport au repère galiléen R_0 .

Vous montrerez que cette énergie cinétique $E_C(\Sigma/R_0)$ s'écrit : $\frac{1}{2} \cdot I_{\text{equi}} \cdot \dot{\alpha}^2$ et donnerez l'expression de I_{equi} en fonction des masses m_1 , m_2 , m_3 , m et m_6 et des dimensions ℓ , d et r .

3.3- Déterminer, en fonction de α (et ses dérivées) et des paramètres dimensionnels et massiques, l'expression littérale de la somme des puissances galiléennes : $\Sigma P(\text{Ext} \rightarrow \Sigma, R_0) + \Sigma P(\text{Int} \rightarrow \Sigma, R_0)$ des actions extérieures et intérieures de ce système Σ dans le repère R_0

3.4- Par application du théorème de l'énergie cinétique à ce système S, écrire l'équation différentielle du mouvement de ce manipulateur industriel dans le repère galiléen R_0 .

4- Dimensionnement du mécanisme

Dans cette partie on donnera le résultat sous forme littérale avant l'application numérique avec les valeurs suivante : $m_1 = 100 \text{ kg}$, $m_2 = 120 \text{ kg}$, $m_3 = 60 \text{ kg}$, $m = 600 \text{ kg}$, $\ell = 2 \text{ m}$, $d = 1,25 \text{ m}$ et $r = 0,75 \text{ m}$

4.1- On se place dans le cas où : L'opérateur n'exerce aucune action sur la poignée ; Le vérin n'est pas alimenté ; Il n'y a aucun objet de fixé sur le support 2. Dans ce cas le manipulateur est en équilibre (aucun mouvement). En déduire la masse m_6 des contrepoids en fonction de m_1 , m_2 , m_3 , ℓ et d . Puis faire l'application numérique

4.2- On se place dans le cas où : L'opérateur n'exerce aucune action sur la poignée ; Le vérin est alimenté sous une pression p ; Il y a un objet 7 de masse m de fixé sur le support 2.

Dans ce cas le manipulateur est en équilibre (aucun mouvement). En déduire la pression p en fonction de m , ℓ , r , S et g . Puis faire l'application numérique avec $S = 30\,000 \text{ mm}^2$.

4.3- L'objet a atteint une vitesse de $0,3 \text{ m.s}^{-1}$ (Soit une vitesse de rotation du bras de $0,15 \text{ rad.s}^{-1}$). On souhaite l'arrêter manuellement sur une distance curviligne (Car translation circulaire) de $0,2 \text{ m}$. Il faut une décélération de $0,75 \text{ m.s}^{-2}$. Soit une décélération angulaire du bras 1 de $\ddot{\alpha} = 0,375 \text{ rad.s}^{-2}$.

a - Le vérin est toujours alimenté sous la même pression p que celle déterminée précédemment. En déduire la force F en fonction de $\ddot{\alpha}$, m_1 , m_2 , m_3 , m_6 , m , ℓ et d que doit exercer l'opérateur. Faire l'application numérique, et commenter le résultat.

b- Déterminer la nouvelle pression p qui dans ces conditions permettrait de réduire la force de 90%. Conclure sur la possibilité de réduire l'effort de l'opérateur.