

Maxpid : évaluation du moment d'inertie rapporté à l'axe moteur

Objectifs

Evaluer le moment d'inertie du bras de robot fermé Maxpid.

La difficulté de cette évaluation provient :

- de la non linéarité entrée-sortie mécanique du système
- de la diversité des pièces en mouvement
- de la diversité des axes de rotation ou de déplacement des pièces



Démarche ingénieur

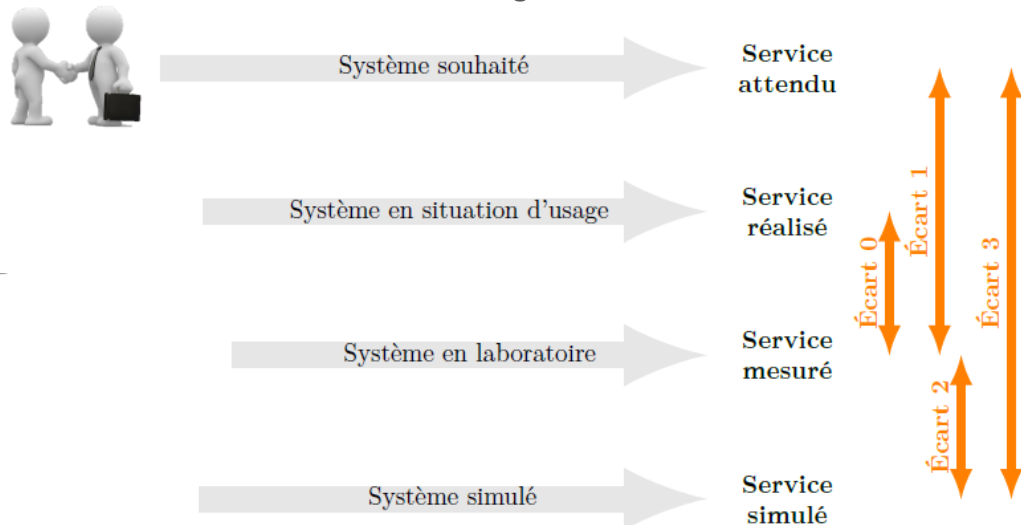


FIGURE 1 – Démarche de l'ingénieur centrée sur la mesure des écarts.

Objectif : minimiser les écarts

AVERTISSEMENT

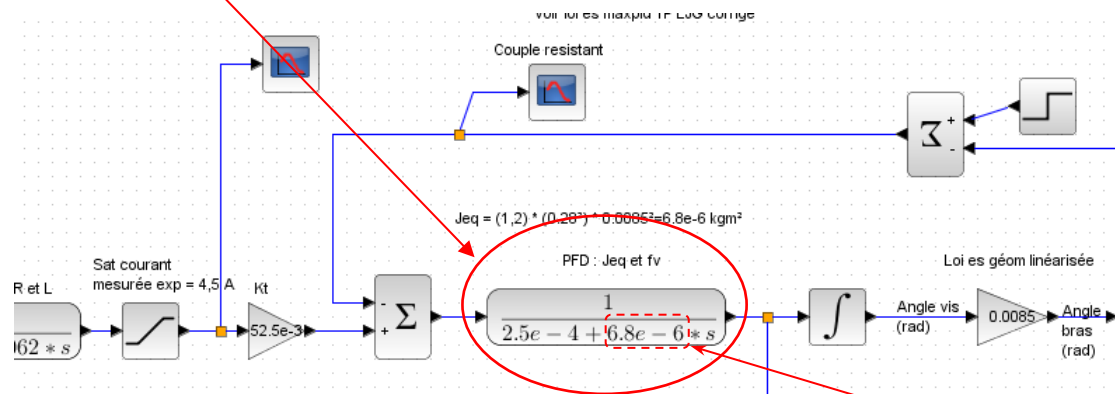
VOUS DEVEZ DEPLACER TOUT DOCUMENT NUMERIQUE MODIFIABLE DANS UN DOSSIER PERSONNEL AVANT OUVERTURE ET MODIFICATION. IL S'AGIT ICI DU TABLEAU DE CALCUL ET DE LA DAO 3D SOLIWORKS.

Introduction

Lors de l'étude des systèmes asservis vous avez utilisé le modèle numérique causal de Maxpid (ou d'un autre système) sous forme de schéma bloc dans le logiciel de simulation multi physique Scilab.

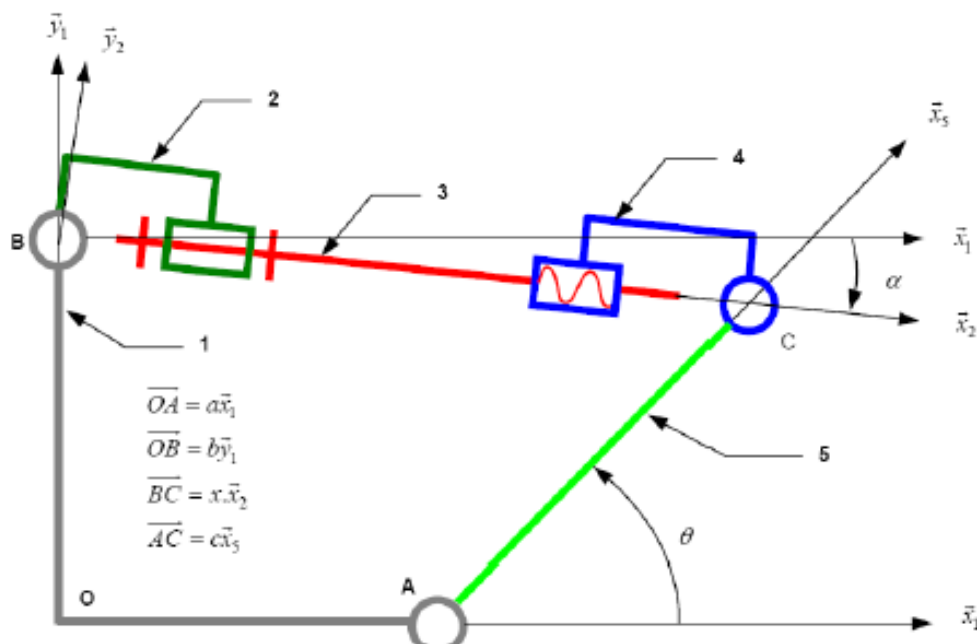
Une copie d'écran partielle est donnée ci-dessous : on attire votre attention sur le bloc entouré.

Il s'agit du bloc représentant la partie mécanique du modèle du moteur à courant continu : $\frac{1}{J_{eq}p + f_v}$. J_{eq} est le moment d'inertie de l'ensemble mobile rapporté au rotor moteur.



Nous nous proposons dans ce TP de déterminer l'inertie équivalente J_{eq} de différentes manières.

Modèle cinématique de Maxpid



Caractéristiques géométriques des solides (en mm) :

$\overline{OA} = a\vec{x}_1$, $a = 70$; $\overline{OB} = b\vec{y}_1$, $b = 80$; $\overline{AC} = c\vec{x}_3$, $c = 80$; $p = 4$.

PARTIE 1 : EXPERIMENTATION

Questionnement préliminaire : analyse qualitative du mécanisme

Maxpid doit être dans la configuration suivante :

- système posé horizontalement sur la table
- Bras chargé avec trois masses

Les pièces mobiles par rapport au bâti 0 sont :

- Le support moteur 2
- Le rotor/vis 3
- L'écrou 4
- Le bras 5

Il va falloir déterminer le moment d'inertie de chacune de ces pièces rapporté au rotor moteur 3.

Q1. Manipuler le bras de Maxpid, observer le mouvement de chaque pièce et identifier les mouvement des pièces par rapport au bâti : rotation, translation, ou combinaison rotation et translation ?

Support moteur 2, rotor vis 3, écrou 4, bras 5

Q2. Manipuler encore le bras de Maxpid, observer les vitesses de chaque pièce et posez-vous la question : vitesse plutôt faible ou plutôt élevée par rapport à la vitesse du rotor moteur ?

Support moteur 2, bras 5, écrou 4.

Q3. Expliquez finalement, grâce aux observations précédentes et en observant la masse des pièces, pourquoi ce sont surtout le bras et le rotor qui influent sur l'inertie globale de l'ensemble (ou bien, pourquoi les inerties de l'écrou et du corps du moteur sont négligeables).

Détermination de J_{eq} expérimental par la constante de temps du moteur

Si on soumet le moteur de Maxpid à un échelon de tension $u_{mot}(t) = U_0 \cdot u(t)$, la vitesse du rotor $\omega_{mot}(t)$ croît selon une allure exponentielle asymptotique. Le choix d'un modèle 1^{er} ordre pour la fonction de transfert du moteur, $H_{mot}(p) = \frac{\Omega_{mot}(p)}{U_{mot}(p)}$ est donc pertinent.

La constante de temps du moteur issue du modèle physique est : $\tau_{mot} = \frac{R \cdot J_{eq} + f_v L}{R \cdot f_v + K_e^2}$.

Résistance induit MCC	$R=2,1 \Omega$	Constante de f.e.m.	$K_e = 0,052 \text{ Vs/rad}$
Inductance induit MCC	$L=0,62 \text{ mH}$	Constante de couple	$K_t = 0,052 \text{ Nm/A}$
Coefficient de frottement visqueux	f_v considéré nul en première approche		

Q4. Manipulation : J_{eq} expérimental.

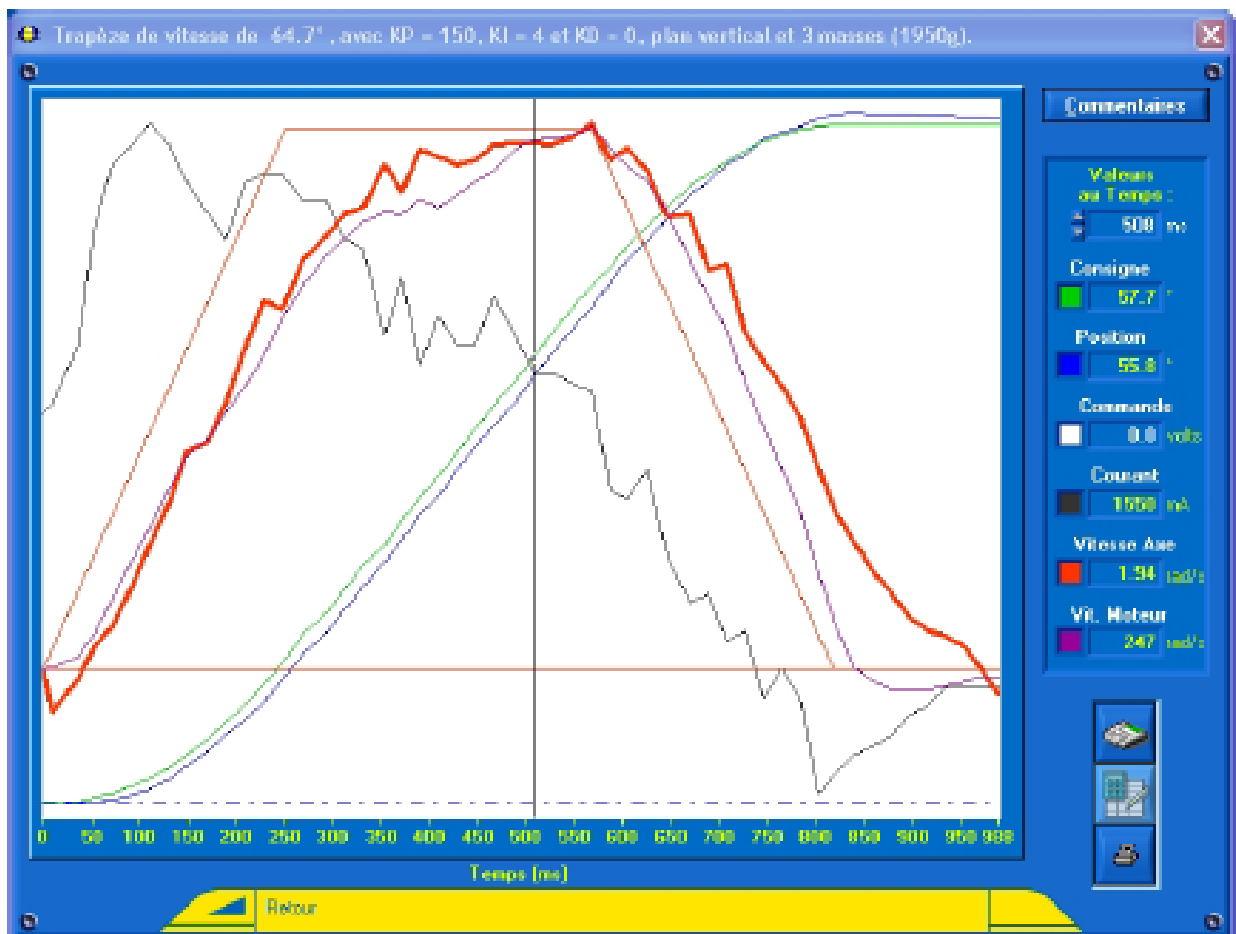
Régler la correction proportionnelle $K_p = 200$. Faire un essai avec un échelon de consigne d'angle du bras de 10° à 80° . Afficher la tension moteur et sa vitesse.

Par lecture du graphique : déterminer la constante de temps.

Déduire le moment d'inertie équivalent de l'ensemble mobile ramené au rotor moteur.

Détermination de J_{eq} expérimental par le PFD

On réalise un essai avec consigne trapèze permettant d'avoir une accélération constante du rotor moteur. On donne ci-dessous la copie d'écran de l'acquisition.



Vous remarquez la loi de vitesse en « trapèze » imposée au bras (« vitesse axe »). Sur la partie du mouvement où la vitesse du rotor moteur est variable, on peut évaluer l'accélération du rotor. En connaissant l'intensité moteur on peut déduire le couple moteur.

- Q5.** Déterminer : l'accélération angulaire nécessaire, le couple moteur fourni.
Déduire : le moment d'inertie équivalent.

Aide : on rappelle la loi de mouvement de Maxpid conséquence du théorème de l'énergie puissance :

$$J_{eqmot} \cdot \frac{d\omega_{mot}}{dt} + f_v \cdot \omega_{mot} + C_{f-eq} = C_{mot}$$

Vous ferez les approximations nécessaires...que vous énoncerez clairement.



Fin de la partie 1 : permutation.

PARTIE 2 : SIMULATION

Moment d'inertie de chaque solide par simulation 3D

Ouvrir Solidworks, puis ouvrir chaque pièces suivantes nommées :

- « Support de moteur équipé » (2),
- « Vis à billes équipée » (3),
- « Bras porte masse équipé » (5),
- « Écrou équipé » (4).

On note $\mathcal{E}$ l'ensemble mobile constitué des pièces {2, 3, 4, 5}, dont on cherche l'inertie équivalente : $\mathcal{E} = \{2,3,4,5\}$

Q1. Grace à la fonction « Evaluer/propriétés de masse », déterminer le moment d'inertie de chaque solide*. Vous pouvez vous répartir le travail au sein du binôme.
Une personne → Une pièce.

Voir l'annexe en fin de sujet pour vous aider à lire la matrice d'inertie Solidworks.
Vous prendrez soin d'identifier l'axe du moment d'inertie sous la forme « $(M, \vec{u})$ » en vous référant au schéma cinématique.

** selon quel axe ?.. à vous de voir !*

Solide	Moment d'inertie (3 chiffres significatifs ; attention à l'unité !)	Axe du schéma cinématique " $(M, \vec{u})$ "	Axe du repère pièce SW (en bas à gauche de l'écran DAO)
Support moteur 2			
Rotor 3			
Ecrou 4			
Bras 5			

Remarque importante : pour le support moteur, appliquer le théorème de Huygens sera nécessaire. La distance entre le centre d'inertie du support moteur et l'axe $(B, \vec{z}_1)$ est 28mm.

Détermination de J_{eq} simulé de l'ensemble mobile

Hypothèse simplificatrice : on négligera l'inertie équivalente de l'écrou 4 et du support moteur 2.

Q2. Ecrire littéralement l'énergie cinétique galiléenne $E_c(\mathcal{E}/1)$ de l'ensemble mobile ($\mathcal{E}$), en fonction du moment d'inertie du bras 5, J_5 , de l'inertie de la vis, J_3 , de la vitesse de rotation ω_5 du bras par rapport au bâti galiléen et de la vitesse de rotation du rotor moteur ω_3 .

Il faut maintenant mettre $E_c(\mathcal{E}/1)$ sous la forme : $E_c(\mathcal{E}/1) = \frac{1}{2} \cdot J_{eq} \cdot (\omega_3)^2$, pour faire apparaître J_{eq} .

Il faut donc exprimer la vitesse du bras par rapport au bâti ω_5 en fonction de ω_3 , vitesse du rotor par rapport au stator de la manière suivante : $\omega_5 = K \cdot \omega_3$ avec K constant.

Q3. Vue la cinématique particulière du système Maxpid, et la loi entrée-sortie (figure ci-après) : quel problème pose l'affirmation précédente : « $\omega_5 = K \cdot \omega_3$ avec K constant » ?

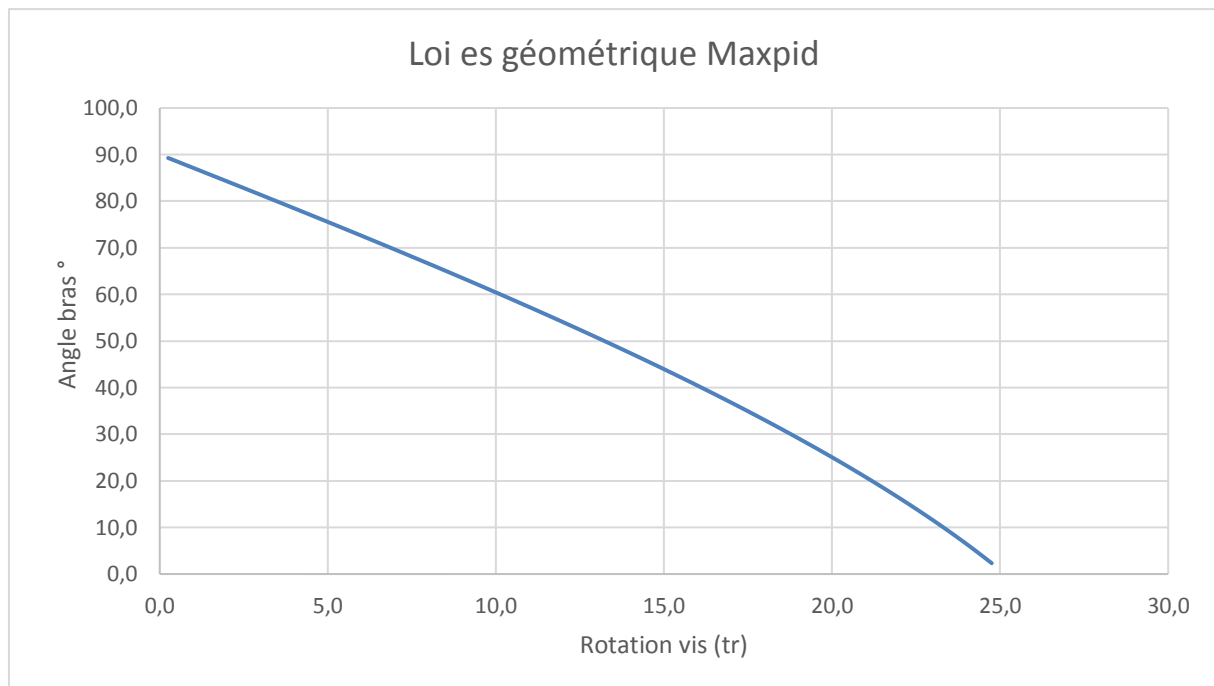
Loi entrée sortie cinématique et finalisation de J_{eq}

Nous allons travailler dans la zone linéaire $\theta \in [30^\circ, 90^\circ]$. Nous désirons trouver la relation d'entrée-sortie linéarisée dans ce domaine.

On fournit ci-dessous la loi entrée-sortie géométrique de Maxpid.

Q4. Dédurre du graphique la relation linéarisée reliant ω_5 à ω_3 sur cette plage de mouvement.

Q5. Dédurre l'inertie équivalente J_{eq} de l'ensemble ($\mathcal{E}$).



Fin de la partie 2 : permutation.

ANNEXE 2 : DETERMINATION DES CARACTERISTIQUES INERTIELLES D'UN SOLIDE AVEC SOLIDWORKS

Centre et base du repère de construction $(\vec{x}, \vec{y}, \vec{z})$ de la pièce ou de l'assemblage de pièces sous SW.

base principale d'inertie, $(\vec{I}_x, \vec{I}_y, \vec{I}_z)$, du solide.

Opérateur d'inertie au centre d'inertie G, dans la base de construction $(\vec{x}, \vec{y}, \vec{z})$ de la pièce sous SW.

opérateur principal d'inertie, exprimé dans la base principale d'inertie, $(\vec{I}_x, \vec{I}_y, \vec{I}_z)$, du solide.

Opérateur d'inertie exprimé en $(O, \vec{x}, \vec{y}, \vec{z})$.

Support de moteur équipé.SLDASM

Remplacer les propriétés de masse

☒ Inclure les corps/composants d'assemblage

☐ Créer la fonction Centre de masse

☐ Afficher la masse du cordon de soudure

Indiquer les valeurs de coordonnées relatives à: -- par défaut --

Propriétés de masse de Support de moteur équipé
Configuration: Défaut
Système de coordonnées: -- par défaut --

Masse = 442.23 grammes

Volume = 158794.54 millimètres cubes

Superficie = 43978.85 millimètres carrés

Centre de gravité: (millimètres)
X = -1.98
Y = 0.00
Z = 0.00

Principaux axes et moments d'inertie: (grammes * millimètres carrés)
Pris au centre de gravité.
Ix = (1.00, 0.00, 0.00) Px = 124176.16
Iy = (0.00, 0.00, -1.00) Py = 765038.22
Iz = (0.00, 1.00, 0.00) Pz = 767005.54

Moments d'inertie: (grammes * millimètres carrés)
Pris au centre de gravité et aligné avec le système de coordonnées de sortie.
Lxx = 124176.16 Lxy = 0.04 Lxz = 0.16
Lyx = 0.04 Lyy = 767005.54 Lyz = 0.10
Lzx = 0.16 Lzy = 0.10 Lzz = 765038.22

Moments d'inertie: (grammes * millimètres carrés)
Pris au système de coordonnées de sortie.
Ixx = 124176.16 Ixy = 0.04 Ixz = 0.15
Iyx = 0.04 Iyy = 768747.80 Iyz = 0.10
Izx = 0.15 Izy = 0.10 Izz = 766780.48