

Dernière mise à jour	Performances des systèmes asservis	Denis DEFAUCHY
08/06/2017		MAXPID

Performances des systèmes asservis

TP

Performances des SLCI

MAXPID

Dernière mise à jour	Performances des systèmes asservis	Denis DEFAUCHY
08/06/2017		MAXPID



Objectifs

Notre objectif est de modéliser entièrement le comportement du robot Maxpid afin d'en prédire les performances. Nous identifierons les frottements secs et fluide, l'inertie du système complet et l'effet de la gravité. Nous pourrions alors simuler le comportement et comparer les performances simulées aux performances réellement obtenues. Nous chercherons alors à expliquer les éventuels écarts observés entre réel et simulé.

Déroulement du TP

Séance 1 : Mise en place du modèle du robot Maxpid sur XCOS (moteur, hacheur, PID, Saturation, Transformation de mouvement, capteurs et consigne) – Inertie (J), Frottements secs (Cfs) et visqueux (f) à identifier – Pas de gravité

Séance 2 : Identification expérimentale des frottements secs (Cfs) et visqueux (f) – Identification expérimentale de l'inertie équivalente du système à l'arbre moteur – Identification expérimentale de la relation statique + Analyse de la courbe fournie afin de prendre en compte la gravité

Séance 3 : Simulation du système et expérimentations diverses – Comparaison des performances et justification des écarts – Réglages du correcteur PID

Dernière mise à jour	Performances des systèmes	Denis DEFAUCHY
08/06/2017	asservis	MAXPID

Modélisation du moteur

Dans un premier temps, avant même de prendre en main le robot et son interface, la documentation du moteur à courant continu du robot est fournie ci-dessous :

Question 1: Réaliser le schéma bloc du moteur sous XCOS en définissant les coefficients K_c , K_e , R et L , en intégrant une inertie J qui pour le moment sera celle du moteur et en tenant compte de la présence d'un couple résistant C_r et d'un coefficient de frottement visqueux f définis nuls

Type Produit **RE035G** PAGE 1

41W 97W MAXON

CARACTERISTIQUES 24V

Tension d'alimentation (Ua)	V	24
Vitesse au courant In	tr/mn	3493
Couple au courant In	mNm	113
Courant max permanent (In)	mA	2150
Vitesse à vide à Ua à +/- 10%	tr/mn	4303
Courant à vide à +/- 50%	mA	92.8
Couple de démarrage à Ua	mNm	611
Courant de démarrage à Ua	mA	11600
Constante de couple	mNm/A	52.5
Constante de vitesse	tr/mn/V	182
Pente vitesse/couple	tr/mn/mNm	7.17
Vitesse limite	tr/mn	8200
Puissance utile max. à Ua	W	69
Rendement maximum	%	85.5
Constante de temps électromécanique	ms	5.23
Inertie	gcm ²	69.6
Résistance aux bornes	Ohm	2.07
Inductivité	mH	0.62
Résistance thermique Boîtier/Ambiant	K/W	6.2
Résistance thermique Rotor/Boîtier	K/W	2

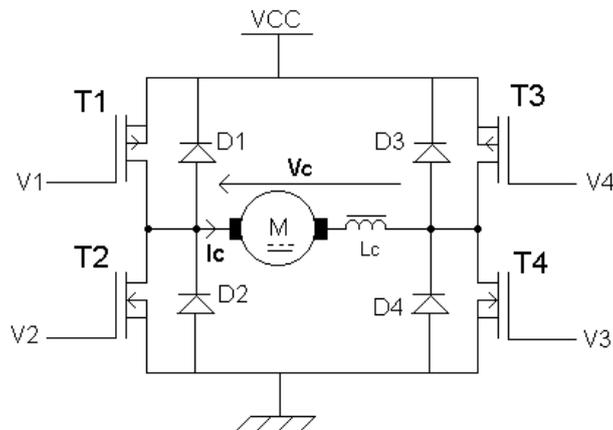


Définissez un temps de simulation de 1,5 secondes dans « Simulation » « Configurer » « Temps d'intégration final » et mettez un échelon de 24 V en entrée du moteur.

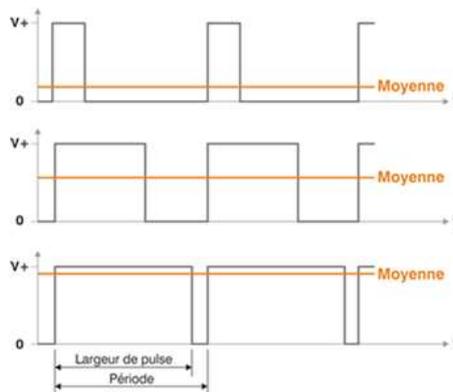
Question 2: Vérifier que la vitesse moteur tend bien vers sa vitesse à vide

Dernière mise à jour 08/06/2017	Performances des systèmes asservis	Denis DEFAUCHY MAXPID
------------------------------------	---------------------------------------	--------------------------

Mise en place de la commande en tension du moteur



Disposant d'une alimentation continue 24V, une consigne (nombre entre 0 et 255 dans le cas de Maxpid) est envoyée dans un hacheur afin d'être traduite en tension. Le hacheur est un système électronique qui envoie la tension de 24V en tout ou rien en modulant le temps à 24V et le temps à 0V.



Ainsi, lorsque sur la moitié d'une période, on envoie 24 V, et l'autre moitié 0V, la moyenne donne 12V. Nos systèmes mécaniques passe bas font parfaitement bien cette moyenne à haute fréquence. Ils sont « assez lents » pour ne pas réagir à 24 puis à 0 mais « voient » passer cette moyenne.

Remarque : il en va de même dans les tensions négatives.

Question 3: Déterminer le gain du hacheur K_{hach}

Question 4: Ajouter à votre modèle le hacheur avec son gain

Dernière mise à jour	Performances des systèmes	Denis DEFAUCHY
08/06/2017	asservis	MAXPID

Correcteur PID et saturation

Le système MAXPID est un système à temps discret. Le correcteur n'est donc pas un circuit électrique mais un code de calcul qui va élaborer un nombre entier à partir de la valeur entière de l'écart au temps T et au temps précédent si une correction intégrale ou proportionnelle est appliquée.

L'interface MAXPID V2 permet de définir 4 coefficients relatifs à cette correction :

- Un coefficient proportionnel K_p défini entre 0 et 255
- Un coefficient d'intégrale K_i défini entre 0 et 255
- Un coefficient de dérivée K_d défini entre 0 et 255
- Un facteur multiplicatif K_{glob} défini entre 0 et 5

La fonction de transfert du correcteur PID vaut alors :

$$C(p) = \frac{K_{glob}}{255} \left(K_p + \frac{K_i}{4} \frac{1}{p} + 16K_d p \right)$$

Remarque : la documentation du robot oublie de préciser ce facteur 255 au dénominateur...

Pour réaliser la commande, concrètement, un petit code informatique prend l'écart au temps t, l'écart précédent, et réalise les calculs numériques d'intégrale, de dérivée, puis multiplie par les différents coefficients pour ressortir la consigne envoyée au hacheur.

Toutefois, le résultat de ce calcul va très probablement pouvoir dépasser la valeur de ± 255 que le hacheur peut recevoir. Qui plus est, pour économiser le moteur dans le temps, il faut limiter la tension envoyée. Les robots didactisés à notre disposition sont limités afin de ne recevoir que 90% de la tension de 24V. Ce n'est pas directement une limite en tension qui est imposée, mais une limite numérique imposée à la consigne sortant du correcteur PID. Ainsi, à la sortie du correcteur, on peut modéliser cette limitation par une saturation valant 90% de la consigne maximale 255 du hacheur correspondant aux 24V du moteur.

Question 5: Déterminer la valeur de la saturation de consigne C_{sat}

Question 6: Ajouter le PID et la saturation à votre modèle en définissant C_{sat} et $K_p = 50$, $K_i = K_d = 0$, $K_{glob} = 1$

Dernière mise à jour	Performances des systèmes asservis	Denis DEFAUCHY
08/06/2017		MAXPID

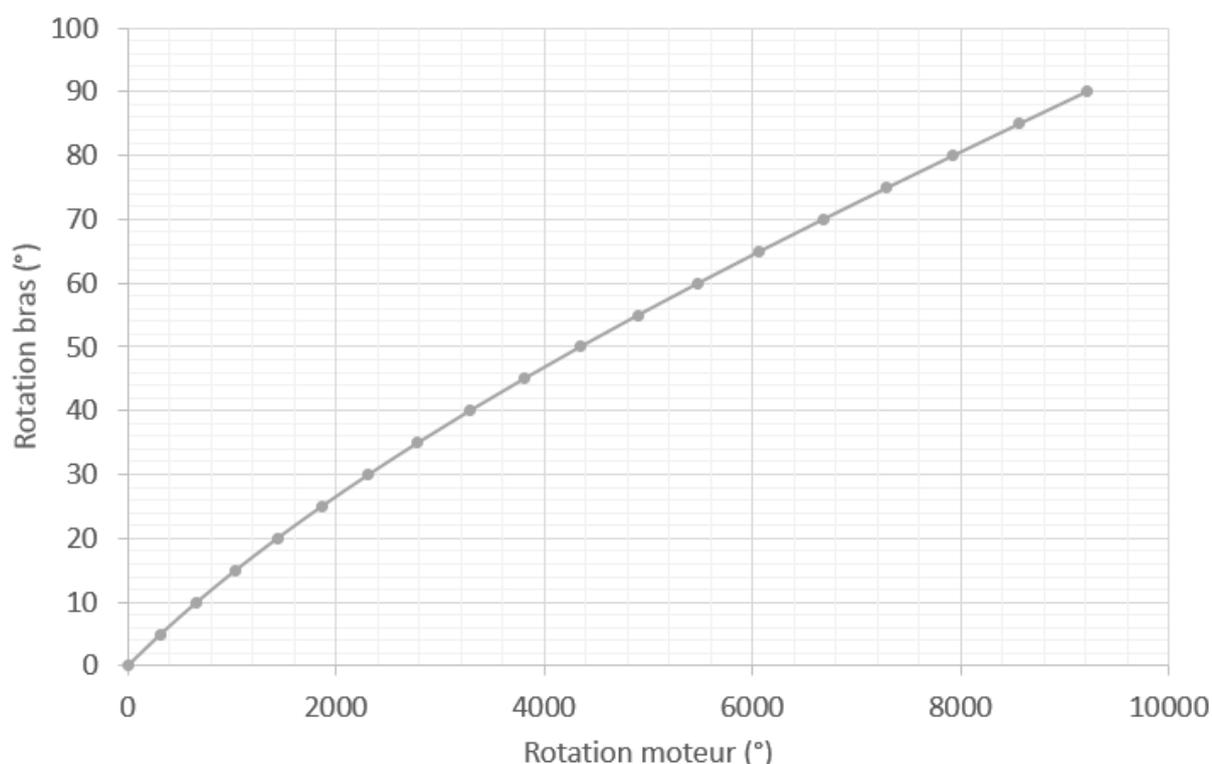
Transformation du mouvement

En sortie de moteur, la vitesse de rotation en radians par secondes est transformée en vitesse de rotation du bras par l'intermédiaire du système mécanique (vis écrou + cinématique du bras). Nous appellerons K_{cin} le rapport :

$$K_{cin} = \frac{\omega_{bras}}{\omega_{moteur}}$$

Dans le système réel, K_{cin} n'est pas une constante.

On propose ci-dessous la courbe d'évolution de ce rapport issue d'une fermeture géométrique ou cinématique (les deux méthodes fonctionnent) :



On remarque qu'il est possible de proposer un modèle linéarisé de cette relation.

Question 7: Déterminer une valeur approchée de K_{cin} à l'aide de cette courbe

Question 8: Proposer et mettre en oeuvre un protocole expérimental simple permettant de valider cette valeur sur le système Maxpid

Question 9: Ajouter un bloc associé à cette transformation cinématique à votre modèle

Dernière mise à jour	Performances des systèmes asservis	Denis DEFAUCHY
08/06/2017		MAXPID

Mesure et consigne

Ensuite, cette vitesse de rotation est **transformée en position angulaire** du bras dont la valeur sera à nouveau **transformée en degrés**.

La chaîne de retour composée d'un capteur et d'une partie traitant l'information du capteur permet de transformer la position angulaire en degrés du bras en un nombre entier n_m . On appelle K_{ac} le gain tel que :

$$K_{ac} = \frac{n_m}{\theta_{bras}} \text{ (/}^\circ\text{)}$$

Comme le système est de classe 1, on sait que l'écart statique est nul et il convient de choisir le même gain K_{ac} pour transformer la consigne θ_c en un nombre consigne n_c .

Lors de la première mise en route du robot, nous avons effectué un étalonnage en positionnant le bras en position 0° et 90° . Le logiciel a alors directement adapté ce gain K_{ac} pour qu'à 0° , n_m soit nul, et qu'à 90° , n_m soit égal à 3960

Question 10: Calculer K_{ac}

Question 11: Finaliser le modèle XCOS de cet asservissement

Validation du modèle – Prise en main du système

Maintenant que le modèle est complet (sans prise en compte de la gravité), vérifiez à l'aide de l'interface interactive que celui-ci correspond au système réel (correcteur proportionnel, hacheur, saturation, capteur, adaptateur)

Dernière mise à jour	Performances des systèmes asservis	Denis DEFAUCHY
08/06/2017		MAXPID

Identification des frottements

En régime permanent, la vitesse de rotation du moteur est constante, et donc sa tension d'alimentation aussi. Dans ce cas, le couple de frottement sec noté C_{fs} (issu des lois de Coulomb) et le couple de frottement visqueux associé à la variable f sont constants.

Question 12: Montrer qu'en régime permanent, $\Omega = aU + b$ et donner a et b en fonction de R , K_e , K_c , f et C_{fs}

Pour obtenir un régime permanent, il est intéressant d'utiliser le robot en boucle ouverte. En effet, en boucle fermée :

- Soit l'échelon demandé est faible et le moteur n'aura pas le temps d'accélérer jusqu'à une vitesse constante
- Soit il est loin et la tension atteindra une valeur toujours identique, égale à la tension de saturation de 21.1 V environ.

En boucle ouverte, par chance, il est simple d'obtenir un échelon de tension sur le robot. En effet, il suffit de lancer une expérimentation et d'appuyer sur le bouton noir en façade pour que l'information du capteur ne soit plus lue. La tension est alors maintenue constante tout au long de l'essai. Mais attention, il faut relâcher le bouton avant que le robot arrive en butée au risque de détériorer le système. Le professeur devrait vous avoir montré au début du TP comment procéder.

La consigne de tension envoyée au départ de l'expérience est proportionnelle à l'écart initial entre la position initiale et la consigne, et au gain K_p . Moduler cet échelon consiste à faire un choix de ces deux paramètres afin d'avoir une tension comprise entre 0 à 21.1V puis de changer quelque peu l'une des valeurs afin de faire varier la tension.

A priori, les paramètres suivants vous permettront de faire varier correctement l'échelon de tension :

- Programmer un échelon de 20 ° positivement en partant d'une valeur initiale nulle ou faible
- Définir un gain de correction proportionnelle K_p entre 10 et 100 avec $K_{glob} = 1$

Vous pourrez alors visualiser la tension de consigne « Commande » et la vitesse moteur « Tachymètre ». Attention à les cocher avant de lancer l'essai.

Note : Attention, selon les Maxpid utilisés, tension et vitesses au départ ne sont pas nulles. Penser alors à corriger les valeurs mesurées en retranchant les valeurs initiales. De même, alors que l'interface V2 affiche une vitesse prétendument en rad/s, certains Maxpid sont en réalité en tr/min. Il est facile d'identifier les erreurs, les vitesses sont de l'ordre de 50 à 300 rd/s !!!

ATTENTION : en boucle ouverte, l'information du capteur n'est plus lue. Il faut veiller à lâcher le bouton noir avant que le bras n'atteigne sa butée au risque d'abîmer le système.

Question 13: Mener une étude expérimentale afin d'obtenir un ensemble de tensions et les vitesses de rotation associées

Question 14: Utiliser un tableur et déterminer l'équation de la droite obtenue (les fonctions pente(Liste_Y,Liste_X) et ordonnee.origine(Liste_Y,ListeX) vous seront très utiles.

Question 15: En déduire les coefficients C_f et f et les entrer dans votre modèle

Dernière mise à jour	Performances des systèmes	Denis DEFAUCHY
08/06/2017	asservis	MAXPID

Identification de l'inertie équivalente du système

Le robot Maxpid met en mouvement différentes masses qui peuvent se résumer à une inertie équivalente au niveau de l'arbre moteur (cf cours de dynamique). Cette inertie notée J tient compte de l'inertie du moteur, certes, mais aussi de toutes les masses en mouvement.

Nous allons ajouter des masses au système et identifier, grâce à sa réponse, l'expression de l'inertie équivalente J en fonction du nombre de masses n . Pour cela, nous allons utiliser le système en boucle ouverte afin de simplifier la forme de la fonction de transfert étudiée, et donc l'identification.

Question 16: Mener quelques essais en BO et identifiez l'allure de la réponse du moteur : 1° ou 2° ordre ?

La constante de temps électrique du moteur, liée à L , étant faible devant sa constante de temps mécanique, on propose de considérer L nulle le temps d'un calcul (on ne la changera pas sur le modèle XCOS).

Question 17: Déterminer la fonction de transfert associée à la tension U du moteur à courant continu en supposant L nulle

Question 18: En déduire l'expression de l'inertie J en fonction de la constante de temps T , R , f , K_e et K_c

On remarquera que cette inertie ne dépend pas de la tension imposée. On fera donc en sorte dans les prochaines manipulations que la tension de commande soit la plus grande possible (21.1 V) afin que la courbe de vitesse monte au plus haut, améliorant l'identification qui sera réalisée.

Question 19: Justifier le fait que la présence du couple de frottement sec C_{fs} ne change pas le temps de réponse du système étudié

Question 20: Mener une étude expérimentale permettant de déterminer la valeur de T pour 0 à 6 masses montées sur le bras à l'horizontale avec une tension de commande en BO de 21.1 V

Question 21: Tracer la courbe de l'inertie J en fonction du nombre de masse n et déterminer les coefficients de l'équation de la droite associée de la forme $J = A_j n + B_j$

Question 22: Ajouter cette inertie J à votre modèle, paramétrée dans le contexte en fonction de n

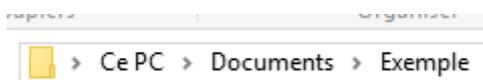
Dernière mise à jour	Performances des systèmes	Denis DEFAUCHY
08/06/2017	asservis	MAXPID

Export des courbes simulées et expérimentées

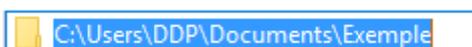
Le logiciel Maxpid V2 permet très simplement d'exporter les courbes de mesure sur un tableur avec l'icône de disquette.

Pour exporter vos fichiers depuis XCOS en vue de comparer les courbes, ajouter le bloc « Write csv » à la simulation (dans les palettes « CPGE », sous dossier « Sorties »). Lui ajouter une « Clock_c » et faire les réglages et branchements comme pour un « Scope ».

Il faut alors définir le chemin d'enregistrement des fichiers csv en fin de simulation et le nom du fichier créé. Pour cela, ouvrez l'explorateur Windows et allez dans le dossier où vous souhaitez enregistrer vos fichiers, dans « Mes documents » par exemple. Dans la barre de chemin du dossier, vous devriez voir :



Cliquez alors dans l'espace vide à droite de votre dossier, vous verrez alors le chemin apparaître :



Copier ce texte, double cliquer sur le bloc  et définir la case « Path of file » en collant ce texte et en ajoutant un nom « nom.txt ». Je vous suggère de modifier le nom à chaque nouvelle simulation en ajoutant les informations associées, par exemple « BF_horizontal_kp50_ki0_kd0_n0.txt ». Soit au total dans cet exemple :

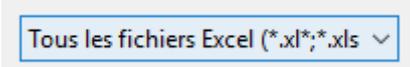
« C:\Users\DDP\Desktop\BF_horizontal_kp50_ki0_kd0_n0.txt »

La simulation est prête, cliquez en haut sur lecture : 

Le programme calcul la solution temporelle, affiche en fin de simulation les courbes demandées, et crée un fichier txt dans le dossier que vous avez choisi avec le nom choisi.

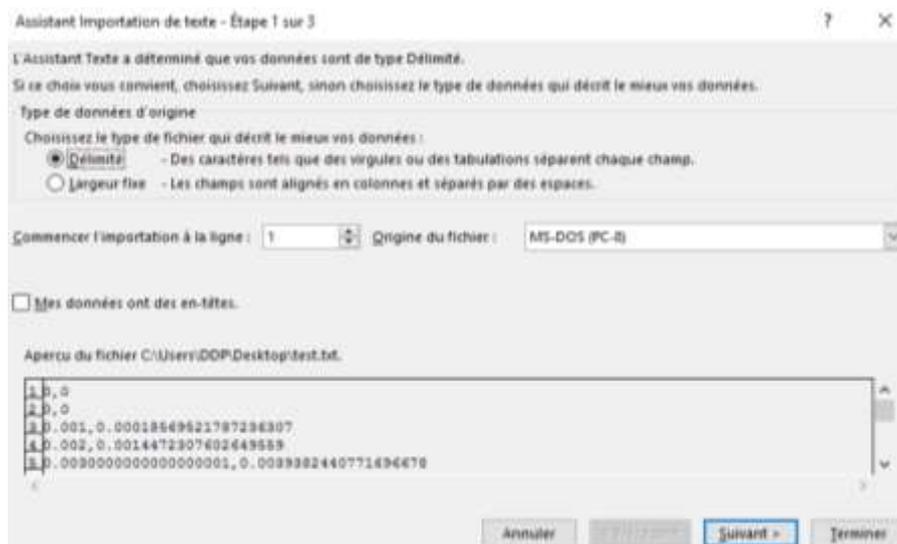
Ouvrons maintenant le document texte avec Excel (pour Open office, une démarche similaire est à réaliser).

Lancer Excel, faire « Fichier » « Ouvrir » et aller chercher votre dossier dans lequel est votre fichier texte. Vous ne devriez pas trouver le document en question.

Dans la liste déroulante en bas à droite , choisir  (sous open office choisir « Texte CSV (*.csv ;*.txt)») puis sélectionner votre fichier texte « nom.txt » et ouvrez le.

Dernière mise à jour	Performances des systèmes	Denis DEFAUCHY
08/06/2017	asservis	MAXPID

Une fenêtre d'importation s'ouvre :



On peut voir à quoi ressemblent les données du fichier texte (vous auriez pu aussi ouvrir directement le fichier texte sans Excel pour le voir). On doit spécifier à Excel (ou open office) que nos données sont séparées par des « , » délimitant les 2 colonnes du fichier.

Cliquer sur « Suivant ».

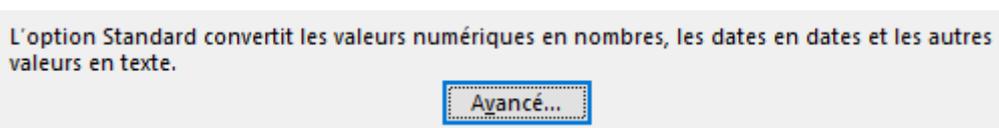
Dans séparateur, choisir « Virgule » et décocher « Tabulation » :



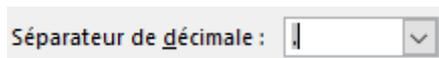
Vous devriez voir dans l'aperçu que les 2 colonnes sont créées. Cliquer sur « Suivant »

Il faut maintenant dire à Excel que les « . » doivent être convertis en « , » pour les nombres décimaux.

Cliquer sur « Avancé »



Dans « Séparateur décimale », choisir le point puis valider.



Finalement, cliquer sur terminer afin d'obtenir les 2 colonnes souhaitées : Temps – Angle bras

Attention, à chaque nouvelle mesure avec XCOS, si vous oubliez de changer le nom du fichier texte, il y aura un bug si celui-ci est encore ouvert dans Excel, XCOS modifiant à chaque fois le fichier texte créé.

Dernière mise à jour	Performances des systèmes	Denis DEFAUCHY
08/06/2017	asservis	MAXPID

Etude de plusieurs grandeurs sur XCOS

Je vous suggère d'ajouter des « Scope » afin de tracer pour chaque simulation, en plus de l'angle du bras :

- la tension moteur
- l'intensité moteur
- La vitesse de rotation moteur

Maxpid horizontal

Votre modèle est maintenant complet pour une étude horizontale.

Question 23: Faire quelques essais en boucle fermée avec 0, 3 et 6 masses pour $\begin{cases} K_p = 50 \\ K_{comp} = 1 \end{cases}$ et $\begin{cases} K_p = 255 \\ K_{comp} = 3 \end{cases}$ et comparer les courbes simulées et expérimentées

Question 24: Exporter les courbes simulées et expérimentées afin de le superposer sur un même graphique

Question 25: Etudier et expliquer les éventuels écarts observés

Dernière mise à jour	Performances des systèmes asservis	Denis DEFAUCHY
08/06/2017		MAXPID

Prise en compte de la gravité

Il ne nous reste plus qu'à prendre en compte la gravité dans le cas où le robot est en position verticale.

En appliquant le principe fondamental de la statique, on montre qu'il existe une relation du type :

$$C_r(\theta_{bras}) = K_{stat}(\theta_{bras}) * P$$

Avec P le poids créant un couple équivalent à celui issu des actions du poids réel au centre de gravité du bras sans masses et des masses ajoutées au point A (centre de gravité des masses) sur le bras à 26 cm de son axe de rotation :

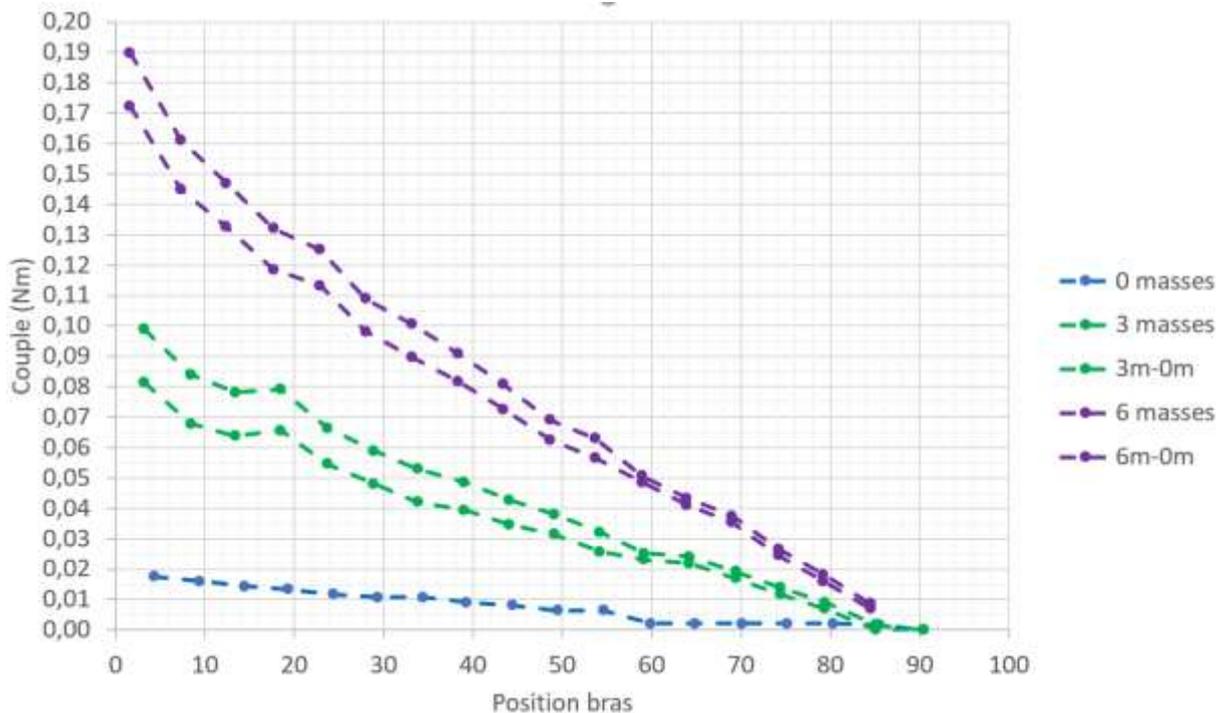
$$P = P_0 + n * m_i * g$$

Avec :

- P_0 le poids de la structure sans masses ajoutées ramené en A tel que son action crée le même couple que son poids réel en son centre de gravité – On appelle m_0 la masse associée
- n le nombre de masses accrochées en A de 0 à 6
- m_i la masse d'une masse ajoutée : 650 gr
- g l'accélération de la pesanteur égale à $9,81 \text{ m. s}^{-2}$

Dernière mise à jour	Performances des systèmes asservis	Denis DEFAUCHY
08/06/2017		MAXPID

On effectue des mesures avec Maxpid pour 0, 3 et 6 masses ajoutées puis on trace l'évolution du couple moteur (opposé au couple résistant issue de la masse – on négligera l'effet des frottements) suivante :



Parmi ces 5 courbes, 3 sont directement issues de la mesure (0 masses, 3 masses, 6 masses), et 2 sont issues d'un calcul ou l'on a soustrait la courbe « 0 masses » aux courbes « 3 masses » et « 6 masses ».

Remarque : l'acquisition donne des couples erronés du fait d'une intensité mesurée à 2A à couple nul, il a donc fallu retrancher le couple à 90° aux mesures effectuées (position où il est censé être nul aux frottements près). Étonnamment, il a fallu corriger d'un facteur 2.407 les mesures effectuées par Maxpid en couple statique pour que la courbe théorique issue du PFS passe bien de la courbe 0 masses à la courbe 3 masses puis à celle de 6 masses sachant qu'elles pèsent 650 gr environ (pesées à 660 en moyenne). Au final, les courbes qui vous sont proposées ci-dessus sont exploitables directement !

Question 26: Montrer que l'on peut exprimer $K_{stat}(\theta_{bras})$ en fonction de n , m_i et g lorsque l'on s'intéresse aux couples auxquels on a soustrait l'étude à vide

Question 27: En utilisant les deux courbes adéquates, déterminer les valeurs moyennes de $K_{stat}(\theta_{bras})$ pour des angles pris de 10 en 10° et tracer son évolution

Question 28: Montrer que l'on peut alors exprimer le poids P_0 en fonction de variables connues pour chaque position pour chacun des 3 courbes obtenues lors de l'essai

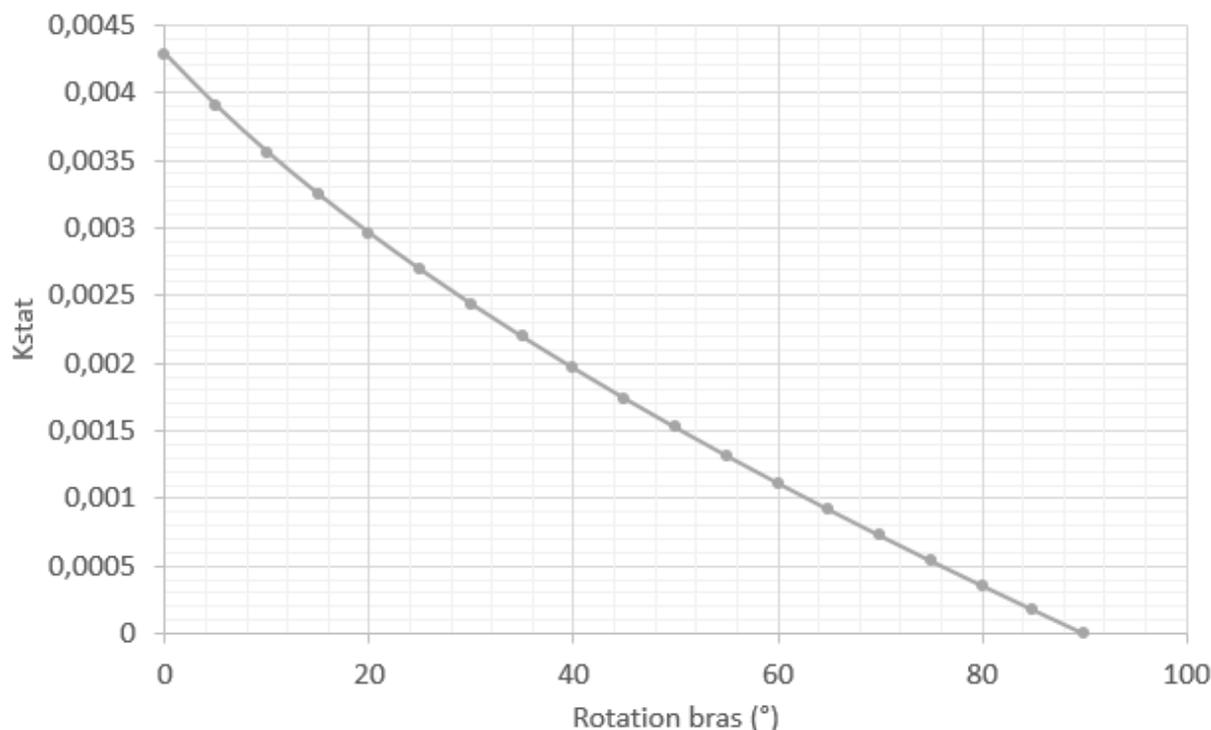
Question 29: En déduire une valeur moyenne de P_0 et en déduire la masse m_0

Pour répondre à ces questions, une autre méthode est possible : Avoir dans un tableur les courbes expérimentales et ajouter sur le même graphe les courbes théoriques, puis trouver à tâtons m_0 (méthode que j'ai réalisée).

Dernière mise à jour	Performances des systèmes asservis	Denis DEFAUCHY
08/06/2017		MAXPID

Question 30: En déduire la courbe approximative du coefficient $K_{stat}(\theta_{bras})$ issue de l'expérimentation

On donne la courbe suivante après application du PFS (elle devrait ressembler à ce que vous avez trouvé précédemment !):



On remarque que cette relation se linéarise.

Remarque : en utilisant la fonction « couple statique » de la version 2 du logiciel Maxpid, on peut tracer la courbe $C_r = f(\theta_{bras})$. Lorsqu'aucune masse est ajoutée, on peut alors ajouter cette courbe à un fichier Excel, tracer la courbe issue du PFS et changer à tâtons la masse m_0 afin de faire coller les 2 courbes. Par cette méthode, nous avons identifié $m_0 = 0,5 \text{ kg}$

Le professeur vous montrera le fichier réalisé et la méthode ayant permis d'identifier P_0 .

Question 31: Déterminer les coefficients a_{stat} et b_{stat} tels que $k_{stat} = a_{stat} * \theta_{bras} + b_{stat}$

Question 32: En déduire l'expression du couple résistant issu de la gravité en fonction de a_{stat} , b_{stat} , θ_{bras} et P

Question 33: Ajouter à votre modèle la prise en compte de ce couple résistant

Remarque : on pourra ajouter un bloc valant 1 si le couple de pesanteur est pris en compte (Maxpid vertical) ou 0 si non (Maxpid horizontal)

Dernière mise à jour	Performances des systèmes asservis	Denis DEFAUCHY
08/06/2017		MAXPID

Maxpid vertical

Votre modèle est maintenant complet pour une étude verticale.

Question 34: Faire quelques essais en boucle fermée avec 0, 3 et 6 masses pour $\begin{cases} K_p = 50 \\ K_{comp} = 1 \end{cases}$ et $\begin{cases} K_p = 255 \\ K_{comp} = 3 \end{cases}$ et comparer les courbes simulées et expérimentées

Question 35: Exporter les courbes simulées et expérimentées afin de le superposer sur un même graphique

Question 36: Etudier et expliquer les éventuels écarts observés

Influence du correcteur

Question 37: Mener une étude sur XCOS afin d'analyser l'influence des différentes corrections sur le comportement du robot Maxpid et comparer ces réponses aux réponses du système réel.

Question 38: Essayer de trouver le réglage optimal