

Dernière mise à jour	Performances des systèmes asservis	Denis DEFAUCHY
11/10/2017		TP1 - Avance

Performances des systèmes asservis

TP1

Programme - Compétences		
B23	MODELISER	Associer un modèle à une source d'énergie Associer un modèle aux composants d'une chaîne d'énergie Associer un modèle aux composants d'une chaîne d'information
C12	RESOUDRE	Proposer la démarche de réglage d'un correcteur proportionnel, proportionnel intégral et à avance de phase
C22	RESOUDRE	Analyser la stabilité d'un système à partir de l'équation caractéristique Déterminer les paramètres permettant d'assurer la stabilité du système Relier la stabilité aux caractéristiques fréquentielles
C24	RESOUDRE	Déterminer l'erreur en régime permanent vis-à-vis d'une entrée en échelon ou en rampe (consigne ou perturbation) Relier la précision aux caractéristiques fréquentielles
E12	EXPERIMENTER	Choisir un type de correcteur adapté

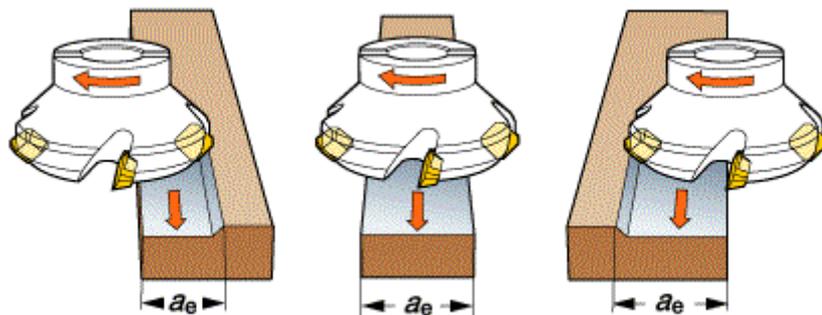
Dernière mise à jour 11/10/2017	Performances des systèmes asservis	Denis DEFAUCHY TP1 - Avance
------------------------------------	---------------------------------------	--------------------------------

Mise en situation

Une grande partie des pièces mécaniques utilisées aujourd'hui passent dans un centre d'usinage dans le but d'effectuer différentes opérations d'enlèvement de matière en fraisage.



Un outil (fraise) est mis en rotation par un moteur et va usiner les surfaces de la pièce à travailler. Une table support sur laquelle est maintenue la pièce à usiner présente un mouvement d'avance permettant à l'outil de réaliser les surfaces voulues.



La maîtrise de la découpe de l'outil passe par un contrôle précis de la vitesse d'avance, vitesse obtenue par l'intermédiaire d'un asservissement en vitesse, objet de cette étude.

Objectifs

Après avoir modélisé le système sur le module XCOS de SCILAB, vous étudierez l'effet d'une correction proportionnelle/intégrale sur ses performances.

Dernière mise à jour	Performances des systèmes asservis	Denis DEFAUCHY
11/10/2017		TP1 - Avance

Modélisation du moteur

La mise en mouvement de la table (avance) est réalisée à l'aide d'un moteur à courant continu régi par les équations suivantes :

(1)	$u(t) = e(t) + Ri(t) + L \frac{di(t)}{dt}$	Equations électriques du moteur à courant continu
(2)	$e(t) = K_e \omega_m(t)$	
(3)	$c_m(t) = K_c i(t)$	
(4)	$c_f(t) = f \omega_m(t)$	Couple de frottement proportionnel à la vitesse de rotation
(5)	$c_m(t) - c_f(t) - c_r(t) = J \frac{d\omega_m(t)}{dt}$	Equation issue du principe fondamental de la dynamique

Avec :

- $u(t)$: Tension d'entrée aux bornes du moteur (V)
- $e(t)$: Force contre électromotrice (V)
- $i(t)$: Intensité (A)
- $\omega_m(t)$: Vitesse de rotation du moteur ($rad. s^{-1}$)
- $c_m(t)$: Couple moteur ($N. m$)
- $c_f(t)$: Couple de frottement ($N. m$)
- $c_r(t)$: Couple résistant ($N. m$)
- L : Inductance de la bobine (H)
- f : coefficient de frottement visqueux ($N. m. s. rd^{-1}$)
- J : Inertie en rotation de l'arbre moteur ($Kg. m^2$)
- R : Résistance électrique du moteur (Ω)
- K_e : Constante de force contre-électromotrice ($V. rad^{-1}. s$)
- K_c : Constante de couple ($N. m. A^{-1}$)

On donne $f = 0,01 N. m. s. rd^{-1}$

On supposera les conditions initiales nulles pour cette étude.

Dernière mise à jour	Performances des systèmes asservis	Denis DEFAUCHY
11/10/2017		TP1 - Avance

Le tableau ci-dessous donne les coefficients du moteur choisi (RX330C).

Caractéristiques	Couple permanent En rotation lente	Vitesse nominale	Puissance nominale	Tension nominale	Courant permanent En rotation lente	Courant maximal En rotation lente	FEM par 1000tr/min (25°)	Couple par Ampère (25°)	Résistance induit (25°)	Inductance	Inertie	Constante de temps Mécanique	Constante de temps Thermique	Charge axiale admissible	Charge radiale admissible A mi-longueur de l'arbre	Masse
Symbole	Mn	Nn	Pn	Un	Ie	Tu	Ke	Ki	R	L	J	tm	rm	Fa	Fr	M
Unité	N.m	Tr/min	W	V	A	A	V	Nm/A	ohm	mH	10 ⁻³ Kg.m ²	Min	Min	daN	daN	Kg
RX120L	0,3	3000	93	45,5	2,9	11,5	11,5	0,11	2,5	7,5	5	10,4	7,2	16	18	1,35
RX130H	0,43	3000	126	47	3,8	14	12,4	0,12	1,67	5,3	6,8	8,15	7,6	16	20	1,60
RX320E	1,1	3000	279	53	8,1	27	15,2	0,15	0,56	5,3	50	13,3	16	23	45	4,00
RX330C	1,6	2900	400	60	10	35	17,7	0,17	0,45	4,6	0,72	11,2	20	23	50	5,20
RX520K	2,9	2800	670	118	8,3	30	38	0,37	0,76	5,4	128	7,3	15,5	30	80	6,6

Reproduire et compléter le tableau suivant :

Grandeur	R	L	k_e	k_c	J	f
Unité SI						
Valeur						

L'inertie de l'arbre moteur à lui seul ne doit pas être prise en compte seule. En effet, compte tenu des éléments mécaniques à mettre en mouvement, on supposera que l'inertie équivalente ramenée à l'arbre moteur vaut $J = 0,01 \text{ USI}$. Cette inertie tient ainsi compte de la masse/inertie de toutes les pièces en mouvement.

A sa tension nominale U_{nom} , le moteur tourne à sa vitesse nominale Ω_{nom} :

Grandeur	U_{nom}	Ω_{nom}
Unité SI		
Valeur		

Etablir le schéma bloc du moteur à courant continu proposé sur votre copie, le mettre en place sur XCOS et vérifier que sa vitesse nominale est obtenue pour sa tension nominale sans couple résistant.

Dernière mise à jour	Performances des systèmes asservis	Denis DEFAUCHY
11/10/2017		TP1 - Avance

Déterminer les fonctions de transfert du moteur $H_m^U(p)$ et $H_m^{Cr}(p)$ telles que $\Omega_m(p) = H_m^U(p)U(p) + H_m^{Cr}(p)Cr(p)$, les mettre sous forme canonique, donner l'expression littérale de leurs coefficients caractéristiques K_m^U et K_m^{Cr} , z et ω_0 ainsi que leurs valeurs numériques.

Modélisation du système complet

Une consigne de vitesse V_c est envoyée au système qui la convertit par l'intermédiaire d'un gain amplificateur de consigne k_v en une tension de consigne U_c . Cette tension est comparée à la tension U_V image de la vitesse de déplacement de la table V_a mesurée par un capteur de vitesse de gain k_{capt} avant d'être imposée aux bornes du moteur. En sortie du moteur, un système de vis à billes permet de transformer la vitesse de rotation de l'arbre moteur Ω_m en une vitesse de translation de la table ou vitesse d'avance V_a . On a : $V_a = k_{ve}\Omega_m$

Etablir le schéma bloc de cet asservissement puis le modéliser sur XCOS. Pour le moment, on pourra mettre une valeur au hasard pour les coefficients inconnus.

Choix du système « vis à bille »

Ecrou simple réglable sans jeu SEM-E-C

Série standard

Dimensions de raccordement
selon DIN 69 051, partie 5
Forme de bride C

Avec racleurs standard
Racleurs renforcés voir page 126
Précharge réglable
Pour vis de précision roulées SN-R
des classes de tolérance T5, T7

⚠ Lors du réglage, éviter toute collision de l'unité de lubrification rapportée avec d'autres pièces.



La vis à bille permet de transformer la rotation de l'arbre moteur Ω_m en translation de vitesse V_a de la table sur laquelle est fixée la pièce à usiner à l'aide de la relation : $V_a = k_{ve}\Omega_m$

L'outil de coupe possède Z dents dont chacune peut « arracher » de la matière sur une profondeur e mm et tourne à une vitesse de rotation maximale $\Omega_o \text{ rd. s}^{-1}$

Dernière mise à jour	Performances des systèmes asservis	Denis DEFAUCHY
11/10/2017		TP1 - Avance

Les usinages les plus rapides seront réalisés avec les paramètres suivants :

$$Z = 6 \text{ dents}$$

$$e = 0,1 \text{ mm/dent}$$

$$\Omega_o = 30\,000 \text{ tr. min}^{-1}$$

En déduire la vitesse d'avance V_a maximale que le moteur doit imposer à la table d'usinage en $m. s^{-1}$.

On souhaite utiliser le moteur à une vitesse de rotation au plus près de sa vitesse nominale.

En utilisant le tableau ci-dessous, déterminer le pas p le plus faible (encombrement, prix) permettant de répondre aux critères énoncés ci-dessus.

d_o = diamètre nominal

P = pas

(R = à droite, L = à gauche)

D_w = diamètre des billes

i = nombre de rangées de billes

Indications

de commande :

SEM-E-C 20 x 5R x 3-4 1 2 T7 R 82Z120 41Z120 1250 0 1

Catégorie	Taille $d_o \times P \times D_w - i$	Références	Capacités de charge		Vitesse ¹⁾ v_{max} (m/min)	Diamètre de centrage D, après réglage de la précharge	
			dyn. C (N)	stat. C ₀ (N)		min. (mm)	max. (mm)
B	16 x 5R x 3 - 4	R1512 010 55	12300	16100	30	27,940	27,975
C	16 x 10R x 3 - 3	R1512 040 75	9600	12300	60	27,940	27,975
C	16 x 16R x 3 - 3	R1512 060 55	9300	12000	96	27,950	27,978
B	20 x 5R x 3 - 4	R1512 110 75	14300	21500	30	35,935	35,970
B	20 x 20R x 3,5 - 3	R1512 170 55	13300	18800	120	35,945	35,973
B	25 x 5R x 3 - 4	R1512 210 75	15900	27200	30	39,935	39,970
B	25 x 10R x 3 - 4	R1512 240 75	15700	27000	60	39,935	39,970
C	25 x 25R x 3,5 - 3	R1512 280 55	14700	23300	150	39,945	39,973
B	32 x 5R x 3,5 - 4	R1512 310 75	21600	40000	23	49,935	49,970
B	32 x 10R x 3,969 - 5	R1512 340 75	31700	58300	47	49,935	49,970
C	32 x 20R x 3,969 - 3	R1512 370 55	19700	33700	94	49,945	49,973
C	32 x 32R x 3,969 - 3	R1512 390 55	19500	34000	150	49,945	49,973
B	40 x 5R x 3,5 - 5	R1512 410 75	29100	64100	19	62,931	62,966
C	40 x 10R x 6 - 4	R1512 440 75	50000	86400	38	62,931	62,966
C	40 x 12R x 6 - 4	R1512 450 55	49900	86200	45	62,931	62,966
C	40 x 20R x 6 - 3	R1512 470 75	37900	62800	75	62,941	62,969
C	40 x 40R x 6 - 3	R1512 490 55	37000	62300	150	62,941	62,969
C	50 x 5R x 3,5 - 5	R1512 510 75	32000	81300	15	74,931	74,966
B	50 x 10R x 6 - 6	R1512 540 75	79700	166500	30	74,931	74,966
C	50 x 12R x 6 - 6	R1512 550 55	79600	166400	36	74,931	74,966
B	50 x 20R x 6,5 - 5	R1512 570 76	75700	149700	60	74,941	74,969
B	50 x 40R x 6,5 - 3	R1512 590 55	46500	85900	120	74,941	74,969
C	63 x 10R x 6 - 6	R1512 640 75	88800	214300	24	89,926	89,961
B	63 x 20R x 6,5 - 5	R1512 670 76	83900	190300	48	94,936	94,964
C	63 x 40R x 6,5 - 3	R1512 690 55	53400	114100	95	94,936	94,964
C	80 x 10R x 6,5 - 6	R1512 740 75	108400	291700	19	104,926	104,961
C	80 x 20R x 12,7 - 6 ²⁾	R1512 770 56	262700	534200	30	124,931	124,959

1) Cf. page 115 « Vitesse de rotation nominale $d_o \cdot n$ » et page 150 « Vitesse critique de rotation n_{cr} »

2) Ecrus 80 x 20R x 12,7 - 6 disponibles avec précharge jusqu'à une longueur de filetage de 2 500 mm

Remarques :

- Dans ce tableau, le pas est en mm
- On choisira la vis la moins encombrante si plusieurs choix sont possibles

En déduire la valeur du gain k_{ve} et compléter le schéma bloc XCOS.

Dernière mise à jour	Performances des systèmes asservis	Denis DEFAUCHY
11/10/2017		TP1 - Avance

Gain de capteur k_{capt}

On utilise un capteur de vitesse linéaire de la table ayant une plage de variation de $-10V$ à $10V$ pour une vitesse allant de -1 à $+1 \text{ m.s}^{-1}$.

Déterminer le gain du capteur k_{capt}

Choix du gain amplificateur de consigne k_v

On souhaite choisir le gain amplificateur de la consigne k_v afin que l'écart au comparateur soit nul lorsque la consigne V_c et la vitesse d'avance V_a sont égales.

Fixer la valeur de k_{capt} et compléter le schéma bloc XCOS.

A ce stade, vous pouvez imposer la vitesse d'avance V_a à votre système et regarder sa réponse. Ne soyez pas inquiétés de voir une vitesse de sortie très faible !

En effet : Quelle est la classe de notre FTBO ? Déterminez à l'aide du cours l'écart théorique obtenu au comparateur. Est-il nul ? On a dit : on choisit k_v tel que entrée = sortie si cet écart nul...

Idée 1 : Déterminez le gain avant comparateur qui permettrait dans le cas étudié d'obtenir une erreur entrée/sortie nulle. Essayez de simuler la réponse du système dans ce cas (attention, préférer définir k_v dans le contexte avec une formule plutôt qu'à la main, car l'arrondi que vous allez faire peut avoir une influence importante). L'asservissement est-il précis ? La perturbation en échelon de couple résistant sera-t-elle annulée ?

Idée 2 : Quel correcteur pourrions-nous proposer dans la suite du TP pour qu'en faisant le choix de k_v proposé au début de cette partie, l'erreur devienne nulle comme souhaité, et qu'en même temps, la perturbation en échelon n'ait plus d'influence sur la précision du système.

Pour la suite, on gardera k_v tel que si l'écart est nul, entrée = sortie.

Dans tous les sujets, c'est la même chose : on propose un k_v qui présuppose qu'après, le correcteur aura l'action voulue... Mais tant que le correcteur n'est pas ajouté, l'asservissement ne donne pas une erreur nulle ! A retenir !

Dernière mise à jour	Performances des systèmes asservis	Denis DEFAUCHY
11/10/2017		TP1 - Avance

Ajout d'une perturbation

Lors de la mise en mouvement de la table, l'outil tourne à sa vitesse de coupe dans le vide pendant un temps t_r jusqu'à ce qu'il y ait contact avec la pièce à usiner. On suppose que ce temps vaut $t_r = 5 \text{ s}$:

On suppose que l'effort de coupe généré lors de l'usinage vaut $F_r = 1256,28 \text{ N}$.

En déduire le couple équivalent résistant C_r sur l'arbre moteur et ajouter ce couple au modèle en respectant le temps de retard t_r .

Visualisez l'effet de ce couple résistant sur la réponse du système.

Réponse statique du système

Déterminer l'expression de la vitesse d'avance $V_a(p)$ dans le domaine de Laplace sous la forme :

$$V_a(p) = H_{V_c}(p)V_c(p) + H_{C_r}(p)C_r(p)$$

En précisant clairement la méthode pour les obtenir, on exprimera les fonctions de transfert obtenues en fonction des coefficients caractéristiques du moteur K_m , z et ω_0 .

Mettre les fonctions de transfert $H_{V_c}(p)$ et $H_{C_r}(p)$ sous forme canonique.

Déterminer la valeur numérique de la valeur finale de V_a obtenue pour une entrée échelon en vitesse V_c et le couple résistant échelon C_r obtenu précédemment en entrée.

Dernière mise à jour	Performances des systèmes asservis	Denis DEFAUCHY
11/10/2017		TP1 - Avance

Performances

Commentez les performances (dépassement, temps de réponse à 5%, précision et effet d'une perturbation) du système ainsi mis en place.

Que pensez-vous de l'asservissement ainsi mis en place ?

On propose l'ajout d'un correcteur après le comparateur à action proportionnelle intégrale du type :

$$C(p) = \frac{Ap + B}{p} = A + \frac{B}{p}$$

Reproduire et compléter le tableau suivant en précisant les valeurs et en commentant chacune des 4 performances précisées ci-dessus pour différents cas proposés :

	$A = 10$	$A = 50$	$A = 100$
$B = 0$			
$B = 50$			
$B = 100$			

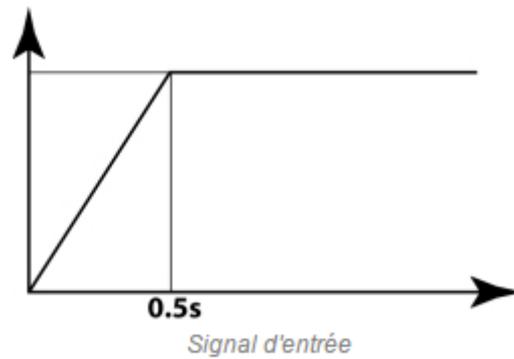
Conclusions

Conclure quant à l'effet de la correction proportionnelle et intégrale sur les performances du système étudié.

Dernière mise à jour	Performances des systèmes asservis	Denis DEFAUCHY
11/10/2017		TP1 - Avance

Annexe : intensité moteur

Visualisez l'intensité moteur dans le cas $A = 30$ et $B = 200$ pour un signal d'entrée échelon et le signal suivant :



Commenter l'effet de ce nouveau signal sur l'intensité moteur et le temps de réponse.

Quel intérêt présente ce nouveau signal ?