

Robot Ericc3

TP d'automatique sur les correcteurs

OBJECTIFS de la séquence de travaux pratiques :

- renforcer les **connaissances du programme** d'automatique, relatives à l'étude d'un axe asservi, et tout particulièrement l'effet de la **correction** sur un **système asservi perturbé**,
- analyser et préciser l'origine des **écarts** entre le comportement **mesuré** de l'axe lacet du robot et des **modélisations** de ce type d'asservissement,



CONTENU de la séquence de travaux pratiques (4 activités) :

- Calcul des valeurs numériques de différents gains de l'asservissement de position de l'axe du lacet, pour compléter le **schéma fonctionnel** ;
(ce travail peut être préparé avant la séance de TP)
- Utilisation d'un logiciel de simulation, sur un premier modèle, pour analyser l'influence des **correcteurs** sur la **stabilité** et la **précision** vis à vis d'une **perturbation** de type couple résistant ;
- Expérimentation sur le système pour **analyser** la réponse temporelle à un échelon de position de l'axe du lacet **corrigé**, et **comparer** avec le résultat de la simulation ;
- Simulation sur un second modèle qui permet de préciser les comportements de l'axe de lacet et conclusion quant aux **qualités de précision** de ce robot.

Texte du TP

1. Etude du schéma fonctionnel de l'asservissement de position de l'axe du lacet

1.1. Données :

Le schéma synoptique de la chaîne fonctionnelle d'un axe du robot est présenté sur le document 1 ; le schéma-bloc de l'asservissement de position de l'axe du lacet est amorcé sur l'annexe 1 ;

a) Hypothèses d'étude

- le couple résistant C_r perturbateur est supposé constant,
- les valeurs de K_p (1.10^6 noté : 1e6), K_d (600) et K_i (2.10^5 noté : 2e5) sont les valeurs de réglage par défaut du correcteur PID (Document 1)

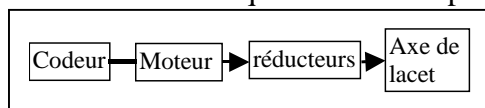
Notations

- θ_{ca}° : consigne de position de l'axe lacet en degrés ;
- $\theta_{cm \text{ imp}}$: consigne de position de l'arbre du moteur en nb. d'impulsions du codeur ;
- θ_{sa}° : position mesurée de l'axe lacet en degrés ;
- $\theta_{sm \text{ imp}}$: position mesurée de l'arbre du moteur en nb. d'impulsions du codeur ;

b) Caractéristiques des constituants de la chaîne fonctionnelle « axe lacet »

- codeur : il fournit 2000 impulsions par tour de l'arbre du moteur auquel il est accouplé ;

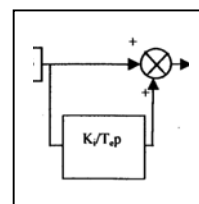
- transmission $\frac{\omega_{\text{moteur}}}{\omega_{\text{axe}}} = \rho = \frac{1000}{3}$



- temps d'échantillonnage $T_e = 3096 \mu s$
- convertisseur numérique analogique 16 bits fournissant une tension de commande sur une plage de $[\pm 10V \text{ pour } \pm 32767 \text{ impulsions}]$,
- commande en courant du moteur sur une plage de $[- 1,7A \text{ à } + 1,7A]$ (limitation du courant moteur réglée à 1,7 Ampères).
- constante de couple du moteur de lacet : $K_m = 0,043 \text{ Nm/A}$
- inertie équivalente ramenée sur l'arbre moteur : $J = 2,09.10^{-5} \text{ kg.m}^2$
- coefficient de frottement visqueux : $f = 1,17.10^{-4} \text{ N.m.s}$

1.2. Questions :

- **Donner** la forme canonique de la fonction de transfert équivalente à la partie de schéma-bloc ci-contre, pour vérifier que cela constitue un correcteur de type intégral.
- le moteur est piloté par une « commande en courant » ; son fonctionnement est régi par les deux équations



$$C_m(t) = K_m \cdot i_m(t) \quad \text{et} \quad J \cdot \frac{d\omega(t)}{dt} = C_m(t) - f\omega(t) - C_r(t)$$

avec : $i_m(t)$: courant moteur ; $C_m(t)$: couple moteur ; $\omega(t)$: vitesse du moteur.

tracer son schéma-bloc, avec l'entrée $I_m(p)$, la sortie $\Omega(p)$ et la perturbation $C_r(p)$.

- **compléter** les trois derniers blocs du schéma-bloc fourni en **annexe 1**, en indiquant les valeurs numériques (respecter les unités), et en prenant en compte l'intégration vitesse/position, et le codeur (dont le bloc a été artificiellement sorti de la boucle de retour).
- **calculer le gain K_{RC}** du calculateur, sachant que son gain en **impulsions par degrés** doit correspondre au nombre d'impulsions fournies par le codeur lors de la rotation de 1° de l'axe de lacet du robot (ne pas oublier le rapport de transmission) ;
- **calculer le gain K_{CNA}** du convertisseur numérique analogique en **volt par impulsion** ;
- **calculer le gain K_I** du variateur électronique en **Ampère par volt** ;
- **déterminer** la valeur maximale de la consigne qui permet de ne pas dépasser la valeur maximale du courant moteur (réglée à 1,7 A) lors de l'application d'une consigne en échelon de position (on notera que le signal renvoyé par les boucles de retour de l'asservissement est nul au début de cette phase de commande d'un échelon de position).

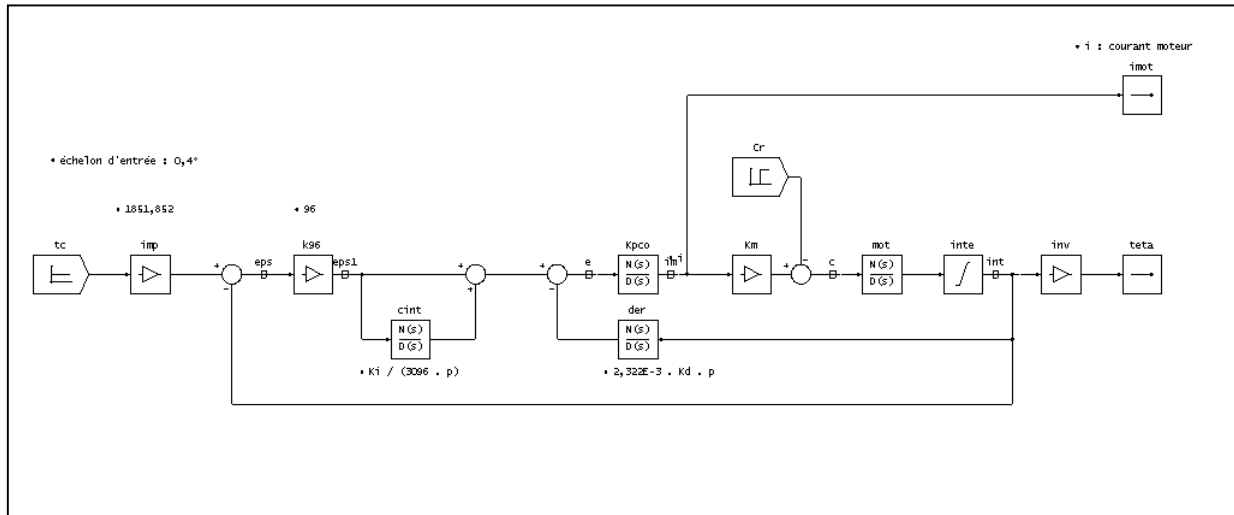
2. Analyse à l'aide du logiciel de simulation

il s'agit de voir l'influence des correcteurs sur la stabilité, et la précision pour une perturbation de type couple résistant :

2.1. Données :

Le schéma-bloc de l'asservissement de position est fourni ci-dessous, ainsi que dans le fichier "lacet_ericc-04-2005_1.sch " sous DID'ACSYDE.

Pour permettre l'affichage du courant moteur, une sortie de la grandeur « imot » a été ajoutée par rapport au schéma de l'annexe 1.



2.2. Questions :

- **vérifier** que le schéma fourni correspond au schéma-bloc donné en annexe 1, au niveau de l'architecture et des valeurs numériques saisies ;
- la question 1.2 a permis d'obtenir la valeur de $0,1^\circ$ pour la consigne limite de position qui évite le dépassement du courant moteur de 1,7 A ;
vérifier ce résultat en effectuant différentes simulations temporelles avec l'affichage du courant « imot », pour différentes valeurs de la grandeur d'entrée « tc » autour de $0,1^\circ$. (on utilisera les valeurs de réglage par défaut du correcteur PID).

Nota : pour la suite du TP, la **consigne de position est fixée à $0,4^\circ$** ;

la perturbation « Cr » est paramétrée pour apparaître au temps 0,5 s ;
on effectuera la simulation sur une durée de 1,5 s.

Dans les trois cas suivants, analyser d'une part la stabilité, d'autre part la précision sous l'influence de la perturbation de couple (Cr prenant les valeurs 0 et 0,05 Nm) :

Cas 1 : pour une correction proportionnelle ($K_p=1e6$) seule ;

Cas 2 : pour une correction proportionnelle et dérivée ($K_p=1e6$ et $K_d=600$) ;

Cas 3 : pour une correction proportionnelle, intégrale et dérivée ($K_p=1e6$, $K_i=2e5$ et $K_d=600$)

Effectuer l'impression sur papier des courbes significative de cette dernière simulation.

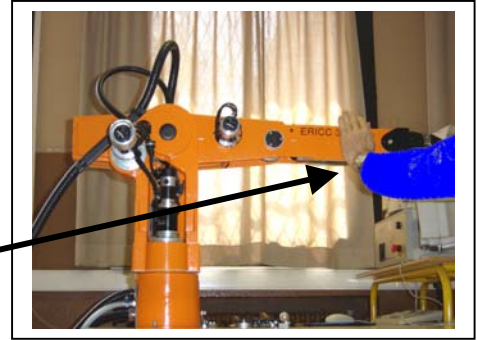
Indiquer quel a été l'effet du correcteur dérivé, et l'effet du correcteur intégral ;

Conclure quant-à l'utilisation de cet ensemble de trois correcteurs dans leur configuration actuelle, vis-à-vis des critères de stabilité et de précision sous l'effet d'une perturbation.

3. Enregistrement puis analyse de la réponse temporelle du robot ERICC3

Il s'agit de commander plusieurs échelons de position sur l'axe de lacet (les correcteurs étant successivement activés), et d'analyser l'effet d'une perturbation de couple.

Nota : Sur le système, une perturbation de couple provenant des frottements dans la chaîne cinématique existe en permanence ; néanmoins, pour mieux visualiser les effets, on exercera une légère pression manuelle sur le bras du robot pendant son mouvement (voir la photo).



3.1. Données :

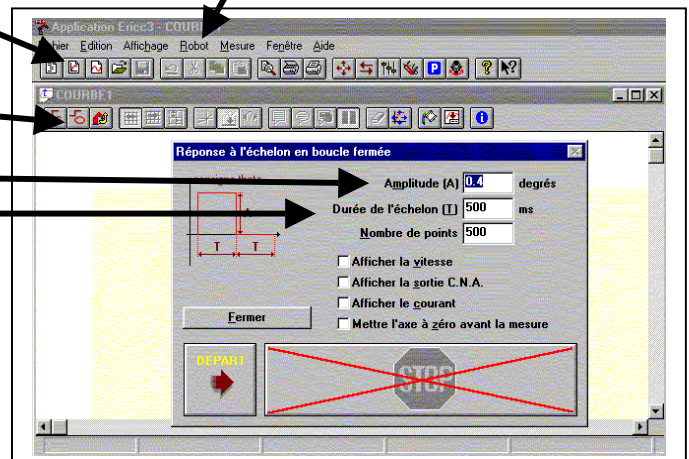
- la consigne de position est de $0,4^\circ$,
- la posture initiale du robot est telle que $\theta_2=0^\circ$ (épaule) ; $\theta_3=-90^\circ$ (coude) ; $\theta_4=0^\circ$ (poignet) qui est la posture de détermination de $J_{\text{équivalent}}$ (Nota : pour placer l'axe du lacet en position initiale, il faut penser à appliquer les valeurs par défauts du correcteur PID).

3.2. Manipulations :

- Placer le robot dans la posture initiale (menu : robot ; déplacement manuel) après avoir éventuellement effectué la prise d'origine ;
- Mettre en place les valeurs de réglage des correcteurs (menu : Robot ; paramétrage du correcteur) ;
- Lancer un échelon de position sur l'axe de lacet :

Nouvelle mesure temporelle (2^{ème} icône) ;
Puis dans la fenêtre qui apparaît : Echelon en boucle fermée (2^{ème} icône) ;

Régler l'amplitude de $0,4^\circ$
et la durée 500 ms ;



En vue d'analyser la stabilité et la précision sous l'effet de la perturbation de couple, lancer des échelons de position avec acquisition des courbes de position, pour chacun des cas ci-dessous :

Cas 1 : pour une correction proportionnelle seule ($K_p=1e6$) ;

Cas 2 : pour une correction proportionnelle et dérivée ($K_p=1e6$ et $K_d=600$) ;

Cas 3 : pour une correction proportionnelle, intégrale et dérivée ($K_p=1e6$, $K_i=2e5$ et $K_d=600$),

Effectuer l'impression sur papier des courbes significative de cette dernière expérimentation.

3.3. Conclusion :

Comparer les résultats de l'expérimentation avec ceux de la simulation effectuée au §2 :

- vis à vis de l'effet de la saturation du courant moteur à 1,7A sur la réponse du système réel (période et amplitude des oscillations) ?
- vis à vis de l'effet des correcteurs, en particulier dans le cas n°3, lorsque tous les correcteurs sont mis en place.

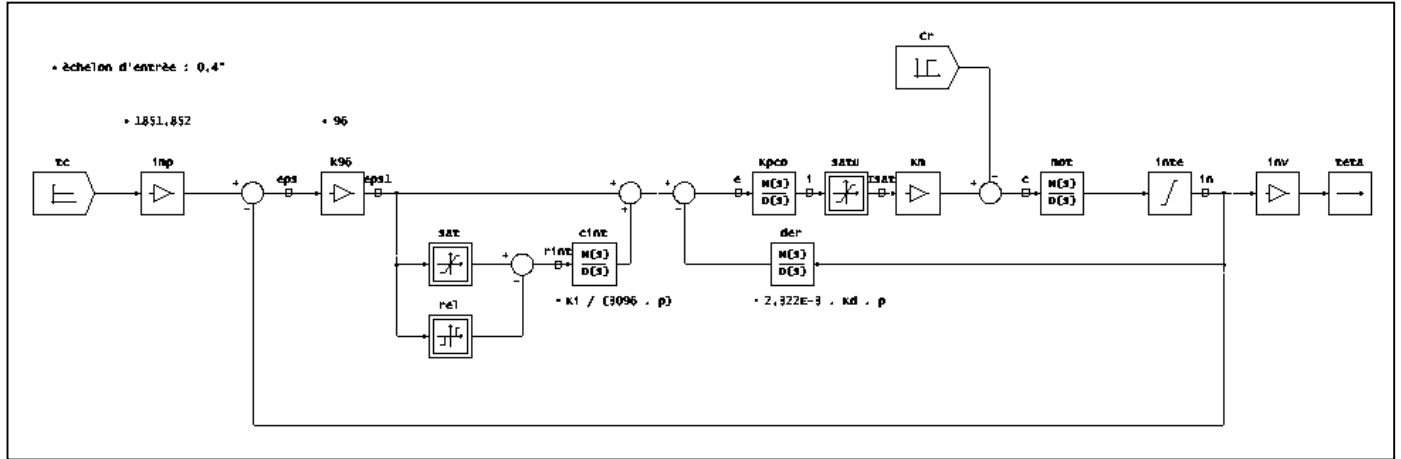
4. Evolution de la modélisation

4.1. Données :

Un nouveau schéma-bloc de l'asservissement de position est fourni ci-dessous.

Sous DID'ACSYDE il est préparé dans le fichier "lacet_ericc-04-2005_2.sch".

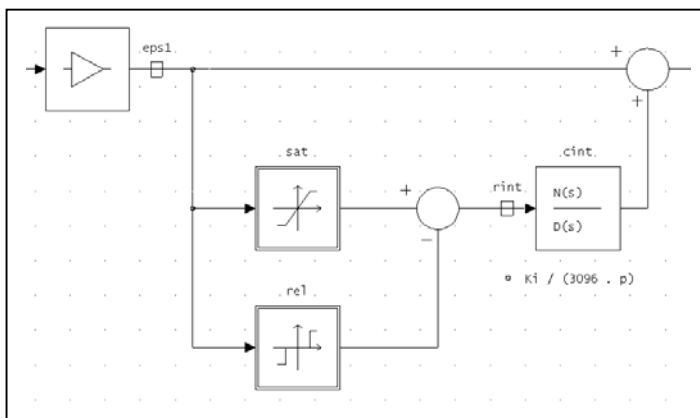
- la perturbation « Cr » est paramétrée pour apparaître au temps 0,5 s ;
- pour la suite du TP, la perturbation de **couple résistant** « Cr » sera de **0.02 Nm** ;
- on effectuera la simulation sur une durée de 1,5 s.



4.2. Analyse du nouveau schéma-blocs :

pour approcher le fonctionnement du système réel par simulation, deux modifications ont été apportées au schéma-blocs :

- La limitation du courant moteur à 1,7 A à été prise en compte par l'utilisation du bloc « satu » ;
- Le correcteur Intégral prend la forme particulière suivante :

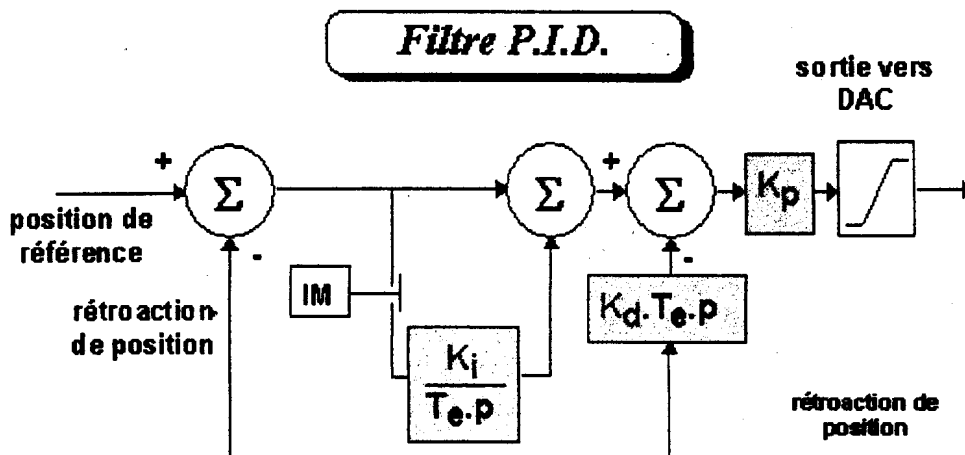
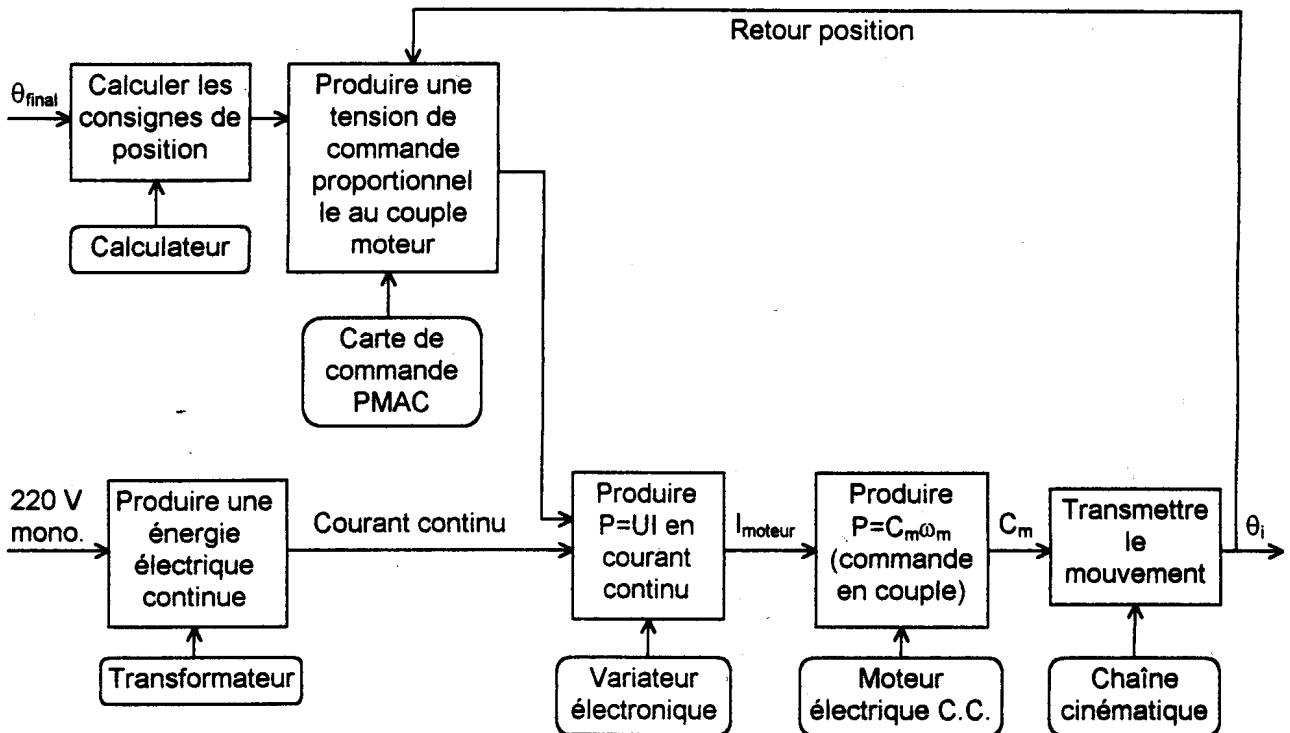


4.3. Questions :

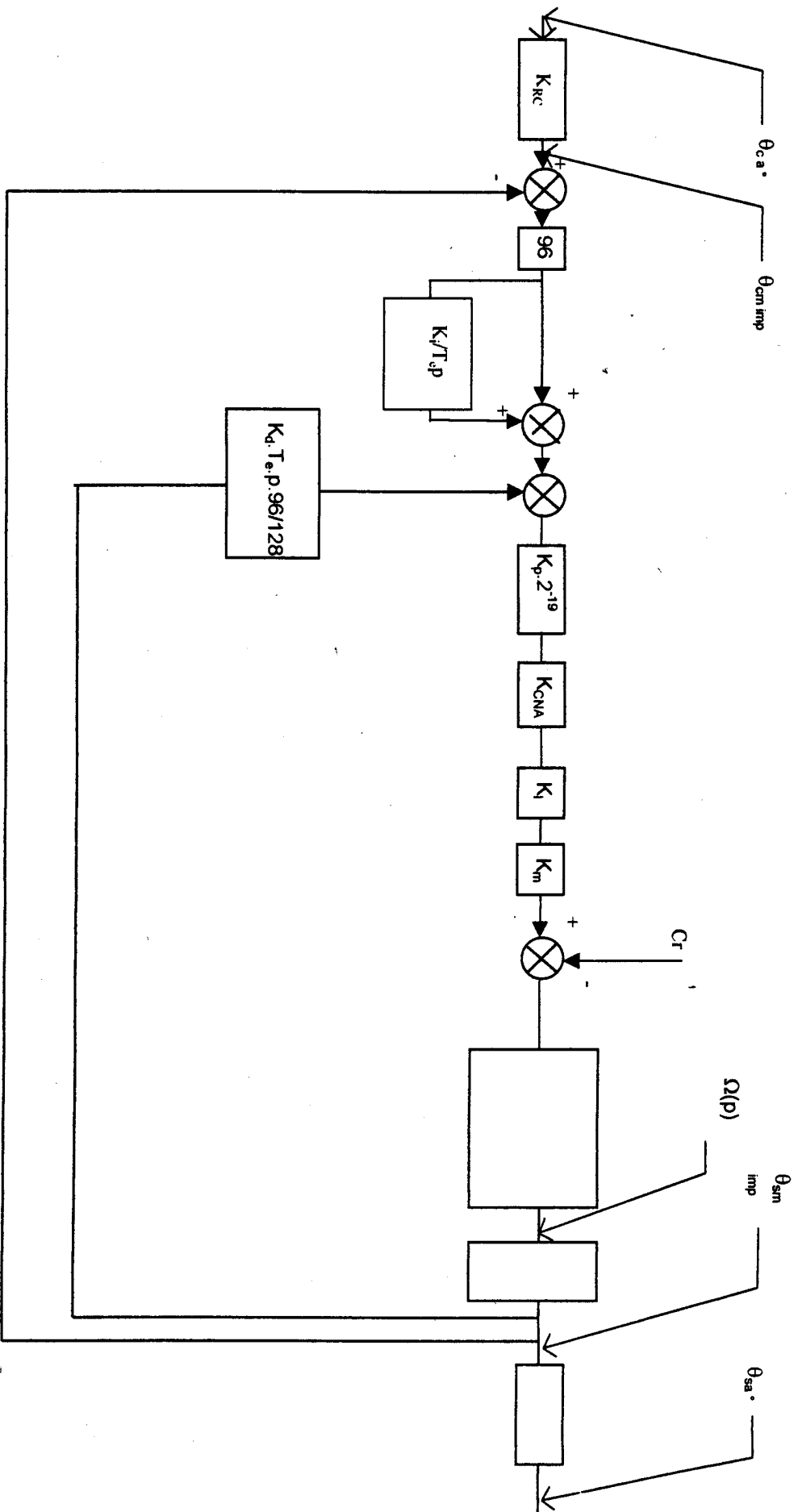
- Tracer le graphe du signal « rint » qui résulte de la soustraction du signal sortant du bloc « rel » (relai) avec celui sortant du bloc « sat » (saturation) ; en déduire que le correcteur intégral n'agit que pour les valeurs de l'écart « eps1 » inférieure à la valeur du paramètre « SI » installé dans les blocs « sat » et « rel ».
- pour une correction proportionnelle, intégrale et dérivée ($K_p = 1e6$, $K_i = 2e5$ et $K_d = 600$), vérifier par simulation, l'effet sur la stabilité et sur la précision, du nouveau correcteur intégral placé en amont de la perturbation de couple résistant (on analysera simultanément l'effet des deux valeurs $SI = 0$ et $SI = 2000$) ; valider le nouveau modèle par comparaison avec le résultat obtenu lors de l'expérimentation.

Conclure quant aux qualités de ce robot en déplacement en point à point ; critiquer la solution utilisée si des contraintes de précision sur la trajectoire sont imposées.

- DOCUMENT 1 -



ANNEXE 1 (à compléter et à rendre)



ANNEXE 1 (corrigé fourni en début de TP)

