

Robot KUKA

Domaines d'application

Le robot Kuka KR 180-2 PA est un robot industriel à quatre axes à cinématique articulée, pouvant être mis en œuvre pour toutes les tâches avec positionnement point par point et, de manière limitée, pour le contournage.

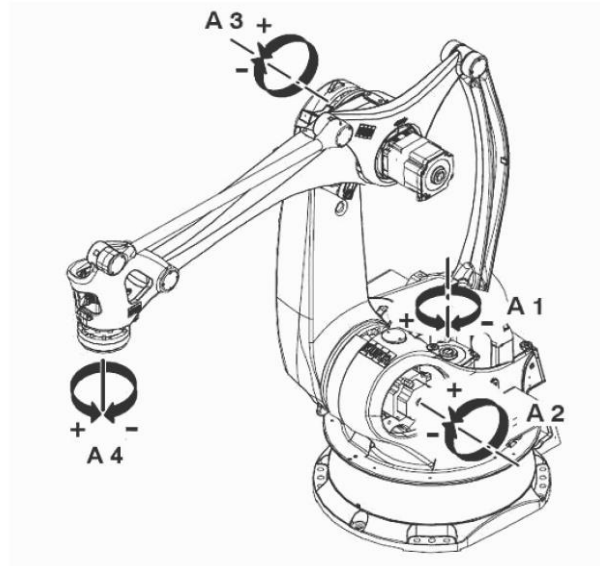
Ses principaux domaines d'application sont :

- la palettisation,
- la manipulation,
- la dépalettisation.



Figure 10 : Robot Kuka KR 180-2 PA

La figure ci-dessous montre les différents axes asservis du robot Kuka.



I. PARTIE A : ASSERVISSEMENT DE POSITION

1 Objectif

On s'intéresse à l'asservissement en position de l'axe A1. On souhaite s'assurer que la chaîne fonctionnelle d'asservissement permet de respecter les performances souhaitées en termes de précision, rapidité et stabilité tout en restant peu sensible aux variations de l'inertie du robot suivant la charge transportée.

2 Données

L'axe A1 est mu par un servomoteur qui présente l'avantage de posséder une très faible inertie. Le comportement électromécanique de ce type de moteur est donné par les équations suivantes :

$$u(t) = Ri(t) + e(t) \quad (1)$$

$$e(t) = k_e \omega_m(t) \quad (2)$$

$$J_e \frac{d\omega_m(t)}{dt} = c_m(t) \quad (3)$$

$$c_m(t) = k_t i(t) \quad (4)$$

Avec $u(t)$ la tension appliquée aux bornes du moteur, $i(t)$ le courant d'induit, $e(t)$ la force contre électromotrice, $\omega_m(t)$ la vitesse de rotation du moteur, $c_m(t)$ le couple délivré par le moteur et J_e l'inertie équivalente ramenée sur l'arbre moteur.

Le réducteur retenu pour cette motorisation est un réducteur Harmonic-Drive. Les caractéristiques de l'ensemble moteur-réducteur sont les suivantes :

- $k_e = 0,2 \text{ V/(rad/s)}$: constante de force électromotrice ;
- $k_t = 0,2 \text{ Nm/A}$: constante de couple ;
- $R = 2 \Omega$: résistance de l'induit ;
- $J_m = 4.10^{-3} \text{ kg.m}^2$: inertie de l'ensemble axe moteur et réducteur sur l'arbre moteur ; on prendra $J_e = J_m$
- $N = 200$: rapport de transmission.

La chaîne fonctionnelle de l'asservissement de l'axe A1 est représentée Figure 8.

La boucle interne réalise une correction de vitesse à partir de la tension $u_g(t)$ fournie par une génératrice tachymétrique de gain K_g montée en prise directe sur le moteur. G est le gain réglable de l'amplificateur de puissance.

La boucle externe réalise la correction de position à partir de la tension $u_r(t)$ fournie par le capteur de position de gain K_r monté en prise directe sur l'arbre de sortie du réducteur. La fonction de transfert du correcteur est notée $C(p)$.

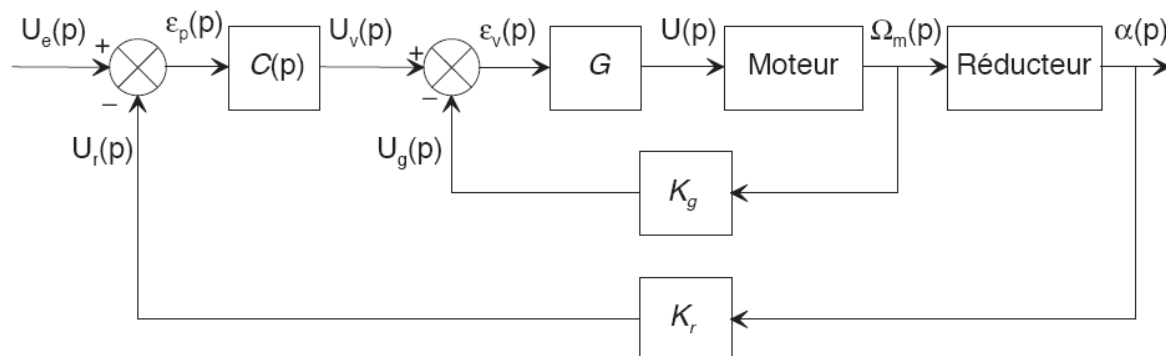


Figure 8 : Asservissement en vitesse et position de l'axe A1

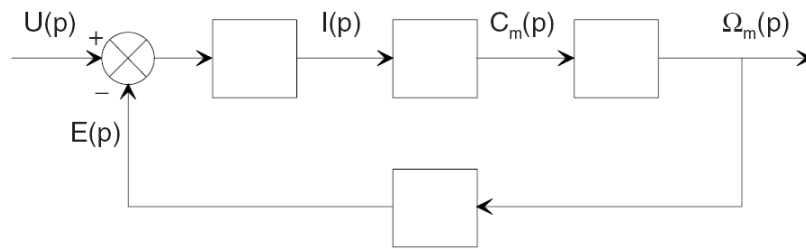
Les performances souhaitées sont les suivantes :

- pas d'écart de position, écart de traînage lors d'un transfert à $105^\circ/\text{s}$ inférieur à 1° ;

3 Fonction de transfert du moteur

Q 1. Déterminer les transformées de Laplace des équations 1 à 4 du moteur en considérant nulles les conditions initiales.

Q 2. Reproduire le schéma bloc et compléter les fonctions de transfert manquantes.



Q 3. En déduire la fonction de transfert $M(p) = \frac{\Omega(p)}{U(p)}$ du moteur que l'on exprimera sous la forme canonique d'un système du premier ordre de gain K_m et de constante de temps τ_m . Donner les expressions littérales de K_m et τ_m et préciser leurs unités.

Q 4. Calculer, avec $J_e = J_m$, les caractéristiques suivantes du moteur.

- constante de temps τ_m ;
- temps de réponse à 5 % ;

4 Étude de la boucle de vitesse

La tension $u_g(t)$ en sortie de la génératrice tachymétrique varie de 0 à 12 V quand la vitesse de rotation du moteur varie de 0 à 3500 tr.min⁻¹.

Q 5. En déduire la valeur du gain K_g de la génératrice tachymétrique.

Q 6. Déterminer, en fonction notamment de K_m et τ_m , la fonction de transfert $H(p) = \frac{\Omega_m(p)}{U_v(p)}$ que l'on exprimera sous la forme canonique d'un système du premier ordre de gain K'_m et de constante de temps τ'_m . Donner les expressions littérales de K'_m et τ'_m et préciser leurs unités.

Q 7.

5 Étude de la boucle de position

La boucle de position est représentée Figure 9 ci-dessous. On admet que :

- $H(p) = \frac{\Omega_m(p)}{U_v(p)} = \frac{30}{1 + 5 \cdot 10^{-3} p}$;
- $K_r = 4$ V/rd : gain du capteur de position ;
- K_a : gain de l'adaptateur du signal de consigne $\alpha_e(t)$;
- le signal de consigne $\alpha_e(t)$ est exprimé en degré ;
- le correcteur $C(p)$ est à action proportionnelle de gain réglable K_c . c'est-à-dire $C(p) = K_c$

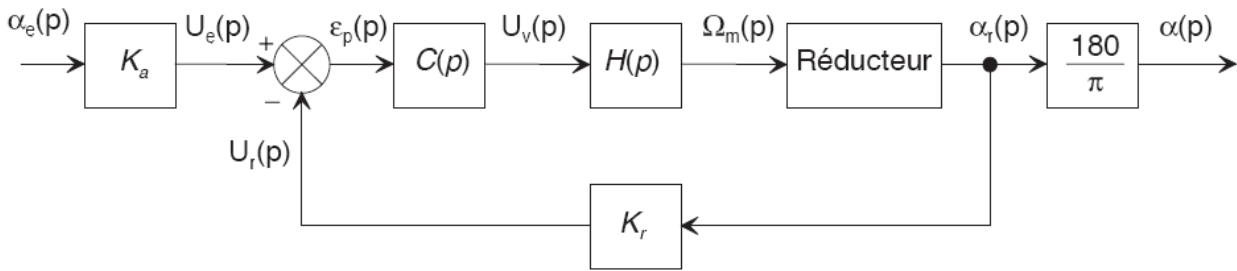


Figure 9 : Boucle de position

On note :

- α_r : angle de rotation de la sortie du réducteur (en rad)
- α : angle de rotation de la sortie du réducteur en degrés
- ω_r : fréquence de rotation de la sortie du réducteur (en rad.s^{-1})
- ω_m : fréquence de rotation du moteur (en rad.s^{-1})
- la relation entre $\omega_r(t)$ et $\alpha_r(t)$ est une relation de dérivation telle que : $\omega_r(t) = \frac{d\alpha_r(t)}{dt} = \dot{\alpha}_r(t)$
- le rapport de transmission du réducteur est tel que : $\omega_r(t) = \frac{1}{N} \omega_m(t)$

Q 8. Déterminer $\frac{\alpha_r(p)}{\Omega_r(p)}$, puis la fonction de transfert $R(p) = \frac{\alpha_r(p)}{\Omega_m(p)}$ du réducteur.

Lorsque $\alpha = \alpha_e$ on souhaite avoir $\varepsilon = 0$,

Q 9. En déduire la relation entre le gain K_a de l'adaptateur et K_r le gain du capteur de position.

Q 10. Déterminer, en fonction notamment de $K'm$ et $\tau'm$, la fonction de transfert en boucle ouverte $T(p)$ que l'on exprimera sous forme canonique. On note KBO le gain statique de $T(p)$.

Pour une stabilité correcte on donne $KBO = \frac{\sqrt{2}}{\tau_m}$.

Rappel : erreur statique $\varepsilon_s = \lim_{t \rightarrow +\infty} \varepsilon(t)$ lorsque l'entrée est un échelon du type $U_e(p) = \frac{U_0}{p}$.

Q 11. Exprimer $\varepsilon(p)$ en fonction de $U_e(p)$ et $T(p)$. Par utilisation du théorème de la valeur finale déterminer l'erreur statique de position.

Q 12. Déterminer l'expression de $\alpha_e(t)$ correspondant à une consigne de vitesse de $105^\circ/\text{s}$. En déduire $\alpha_e(p)$.

Q 13. A partir du schéma-bloc de la figure 9, déterminer la fonction de transfert $\frac{\alpha(p)}{\alpha_e(p)}$. Quel est son ordre ? Mettre la fonction sous forme canonique et déterminer littéralement les paramètres : coefficient d'amortissement et pulsation propre non-amortie.

Q 14. Déterminer les abscisses et ordonnées des 3 premiers dépassements de la réponse indicielle à un échelon de consigne de 1° . En déduire un encadrement du temps de réponse à 5%. Utiliser l'abaque pour déterminer précisément le temps de réponse à 5%.