# Robot KUKA

## Domaines d'application

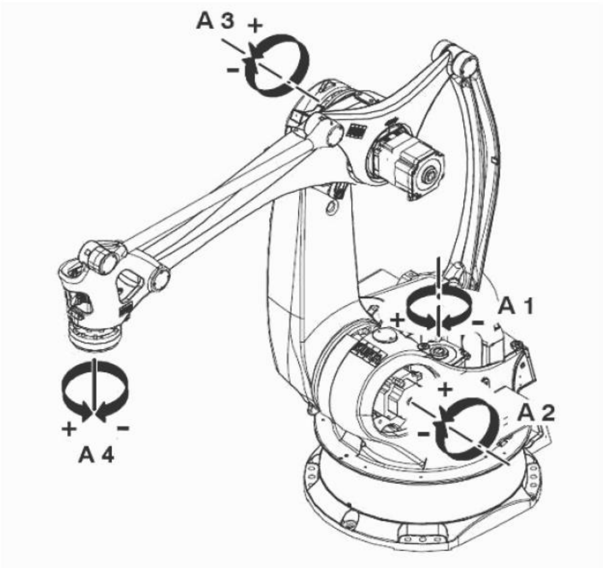
Le robot Kuka KR 180-2 PA est un robot industriel à quatre axes à cinématique articulée, pouvant être mis en œuvre pour toutes les tâches avec positionnement point par point et, de manière limitée, pour le contournage.

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 :**

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

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

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

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

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 V/(rad/s) : constante de force électromotrice ;
- $k_t$ = 0,2 Nm/A : constante de couple ;
- $R$ = 2 Ω : résistance de l'induit ;
- $J_m = 4.10^{-3}$ kg.m$^2$ : inertie de l'ensemble axe moteur et réducteur sur l'arbre moteur ; on prendra Je = Jm
- $N$ = 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 $C(p)$.

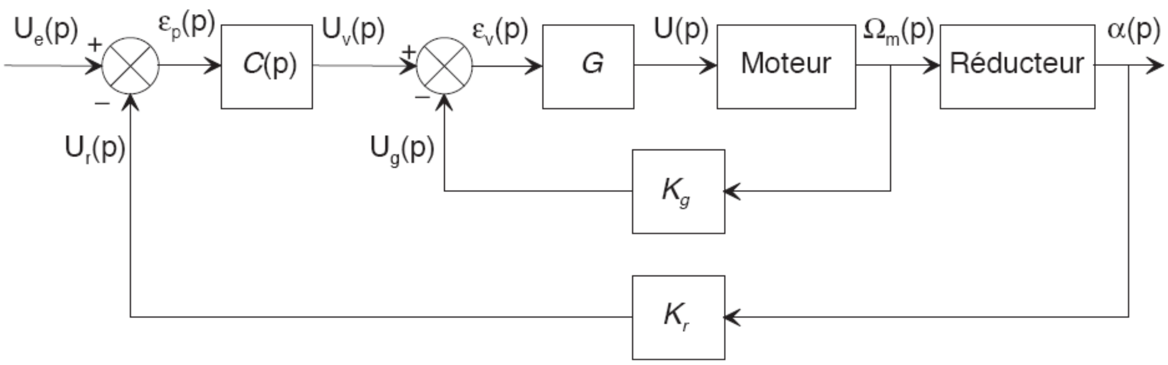



**Figure 8 :** *Asservissement en vitesse et position de l'axe A1*

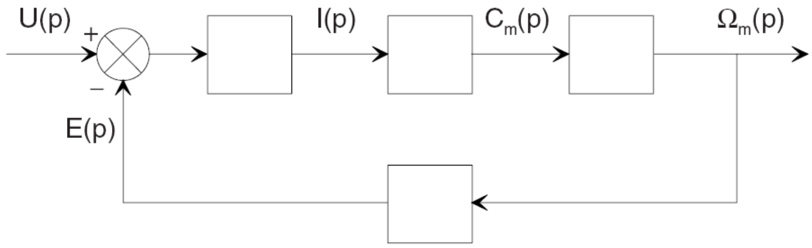
Les performances souhaitées sont les suivantes :

- pas d'écart de position, écart de traînage lors d'un transfert à 105°/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*** $M(p)=\dfrac{\Omega(p)}{U(p)}$ ***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 $\tau_m$. Donner les expressions littérales de $K_m$ et $\tau_m$ et préciser leurs unités.***

*Q 4.* ***Calculer, avec Je=Jm, les caractéristiques suivantes du moteur.***

***a) constante de temps $\tau_m$ ;***
***b) 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 Kg de la génératrice tachymétrique.***

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

## 5 Étude de la boucle de position

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

- $H(p)=\dfrac{\Omega_m(p)}{U_v(p)}=\dfrac{30}{1+5.10^{-3}p}$ ;
- $K_r = 4$ 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)=Kc**

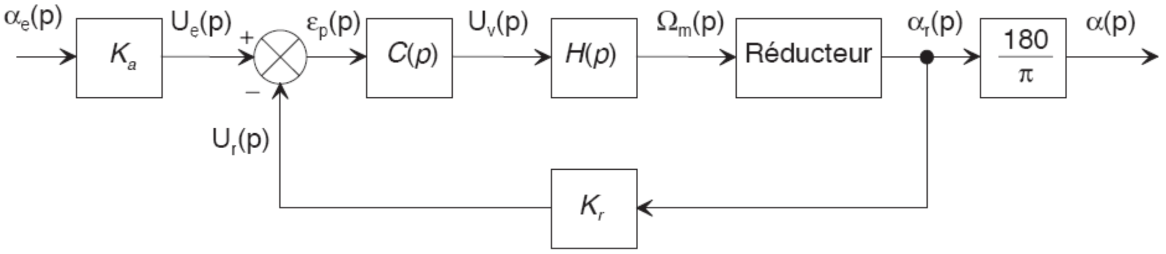



**Figure 9 :** *Boucle de position*

**On note :**

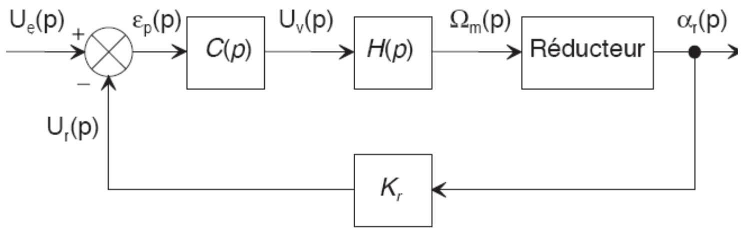
- $\omega r$ **: fréquence de rotation de la sortie du réducteur (en rad.s$^{-1}$)**
- $\omega m$ **: fréquence de rotation du moteur (en rad.s$^{-1}$)**
- $\alpha r$ **: angle de rotation de la sortie du réducteur (en rad)**
- $\alpha$ **: angle de rotation de la sortie du réducteur en degrés**

*Q 7.* ***Déterminer :***

***a) la relation entre*** $\omega r(t)$ ***et*** $\alpha r(t)$***. En déduire*** $\dfrac{\alpha r(p)}{\Omega r(p)}$***, puis la fonction de transfert*** $R(p)=\dfrac{\alpha_r(p)}{\Omega_m(p)}$ ***du réducteur.***

***b) Lorsque*** $\alpha=\alpha_e$ ***on souhaite avoir*** $\varepsilon=0$***, en déduire la relation entre le gain Ka de l'adaptateur et Kr le gain du capteur de position.***

**On s'intéresse à la boucle :**




*Q 8.* ***Déterminer, en fonction notamment de K'm et τ'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).***

*Q 9.* ***Pour une stabilité correcte on donne KBO=*** $\dfrac{\sqrt{2}}{\tau'_m}$***. Exprimer*** $\varepsilon(p)$ ***en fonction de*** $Ue(p)$ ***et*** $T(p)$***. Déterminer l'erreur statique de position. Rappel : erreur statique*** $\varepsilon s=\lim_{t\to+\infty}\varepsilon(t)$ ***lorsque l'entrée est un échelon du type*** $Ue(p)=\dfrac{U_0}{p}$***.***

*Q 10.* ***Déterminer l'expression de*** $\alpha_e(t)$ ***correspondant à une consigne de vitesse de 105°/s. En déduire*** $\alpha_e(p)$***.***

*Q 11.* ***A partir du schéma-bloc de la figure 9, déterminer la fonction de transfert*** $\dfrac{\alpha(p)}{\alpha e(p)}$***. Quel est son ordre ? Mettre la fonction sous forme canonique et déterminer littéralement les paramètres : coefficient d'amortissement et pulsation propre non-amortie.***

*Q 12.* ***Quelle peut être l'allure de la réponse à un échelon suivant les différentes valeurs du coefficient d'amortissement ? Donner autant de précisions que possible.***