Application 01

Robot de maraîchage Oz 440

CCP – MP – Florestan Mathurin

Savoirs et compétences :

- ❒ ...

Présentation du système

On s'intéresse à un robot de maraîchage Oz 440 développé par la société Naïo Technologies dont on donne une description structurelle ainsi qu'un extrait de cahier des charges. Ce robot est un outil autonome agricole capable d'assister les maraîchers dans les tâches les plus pénibles comme le transport de charges lors des récoltes et le désherbage mécanique à l'aide d'un outil de binage.

Ce robot de petite taille évolue directement entre les rangées de cultures pour un travail de précision. Il peut, par exemple, désherber et aussi suivre des personnes lors de la récolte tout en transportant des charges. Bien plus petit qu'un tracteur classique, il ne casse pas la structure naturelle du sol et évite ainsi le phénomène de compaction des sols provoqué habituellement par les tracteurs ou le piétinement de l'homme. Il roule lentement et passe au plus près des cultures sans risquer de les abîmer. Le robot est constitué d'une plate-forme mobile électrique à 4 roues motrices sur laquelle sont fixés divers outils et capteurs. Le moteur du groupe propulsion gauche actionne les 2 roues gauches ensemble et le moteur du groupe propulsion droit actionne les 2 roues droites ensemble, de façon à reproduire finalement un comportement de type « chenilles ». On s'intéresse à l'asservissement de position du robot suivant la ligne moyenne à suivre dans l'allée. On donne les différents modèles de connaissance associés à cet asservissement.

La variable $y(t)$ correspond à la distance d'un point particulier du robot par rapport à la ligne moyenne dans le rang de culture. Le modèle de l'asservissement de suivi de l'allée du robot est donné par le schéma-bloc suivant.

Détermination de la fonction de transfert H 1 (p) du groupe propulsion

On donne dans un premier temps le modèle de connaissance du groupe propulsion gauche. On supposera que toutes les conditions initiales sont nulles et que J, R_m , r, K_i, K_e sont des coefficients constants.

	Modèle de connaissance
Le réducteur, de rapport de réduction r, permet de réduire la vitesse angulaire du moteur $\omega_m(t)$ en une vitesse $\omega_g(t)$ disponible pour la roue gauche	$\omega_g(t)=r.\omega_m(t)$
La force électromotrice $e_m(t)$ du moteur est couplée à la vitesse de rotation de l'arbre moteur $\omega_m(t)$ grâce à la constante de force électromotrice K_e	$e_m(t)=K_e\omega_m(t)$
L'équation mécanique du moteur tournant à la vitesse angulaire $\omega_m(t)$ permet de lier l'inertie J de l'arbre en rotation et le couple moteur $C_m(t)$	$J.\dfrac{d\omega_m(t)}{dt}=C_m(t)$
L'équation électrique au niveau de l'induit du moteur permet de lier la tension $U_g(t)$, le courant $i_m(t)$, la résistance de l'induit R_m	$U_g(t)=R_m.i_m(t)+e_m(t)$
Le couple moteur $C_m(t)$ est couplé à l'intensité $i_m(t)$ dans la bobine du moteur grâce à la constante de couple K_i	$C_m(t)=K_i.i_m(t)$

Question 1 *Appliquer la transformée de Laplace sur les différentes équations du modèle de connaissance.*

Question 2 *Déduire des questions précédentes le schéma-bloc correspondant au groupe propulsion gauche seul.*

Question 3 *Déterminer l'expression de la fonction de transfert du système en boucle fermée du groupe propulsion gauche $H_g(p)=\dfrac{\Omega_g(p)}{U_g(p)}$ en fonction de r, K_i, K_e, J et R_m. Montrer que cette fonction de transfert peut se mettre sous la forme d'un système du premier ordre $H_g(p)=\dfrac{K}{1+\tau p}$ où K et τ sont 2 constantes à déterminer. Donner les unités de K et τ.*

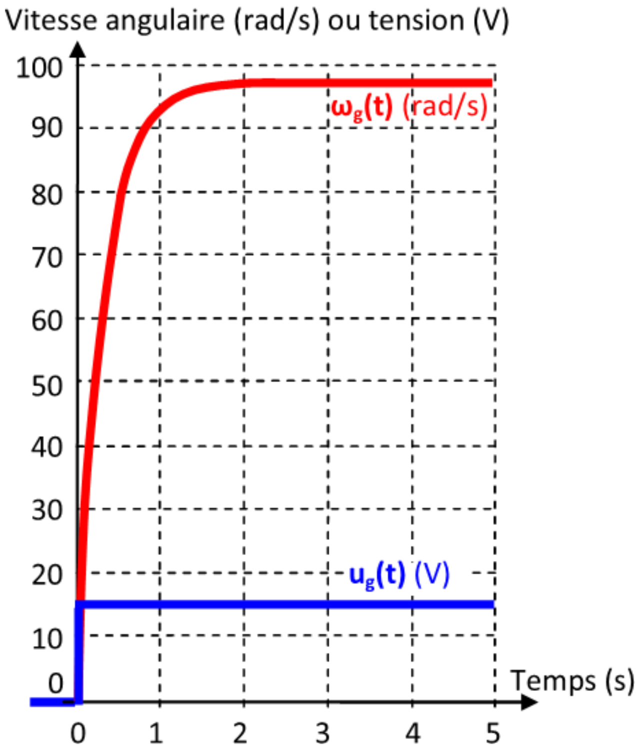
Pour faire pivoter le robot d'un angle $\varphi(t)$ autour de l'axe vertical ascendant, il est nécessaire de faire tourner les roues droites et gauches avec 2 vitesses angulaires différentes de façon à reproduire finalement un comportement de type « chenilles ».

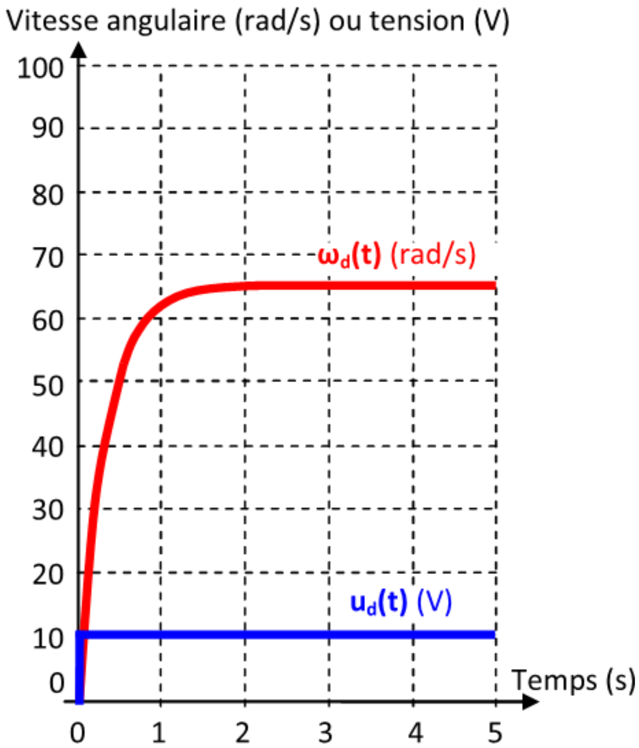
Notations

- Vitesse angulaire moyenne de rotation des roues : $\omega_r(t)$.
- Différence de vitesse de rotation angulaire entre roues droites et roues gauches : $\Delta\omega(t)=\omega_d(t)-\omega_g(t)$.
- Vitesse de rotation des roues gauches et droites : $\omega_g(t)$ et $\omega_d(t)$ avec $\omega_g(t)=\omega_r(t)-\Delta\omega(t)/2$ et $\omega_d(t)=\omega_r(t)+\Delta\omega(t)/2$.
- La différence de vitesse de rotation entre roues droites et roues gauches, représentée par $\Delta\omega(t)$, permet de contrôler l'orientation du robot, alors que la vitesse moyenne de rotation des roues $\omega_r(t)$ permet de contrôler la vitesse $V(t)$ de déplacement en translation du robot.
- Tension de consigne utile pour la rotation : $\Delta U(t)=U_d(t)-U_g(t)$.
- Tension de consigne des moteurs gauches et droits : $U_g(t)=U_m(t)-\Delta U(t)/2$ et $U_d(t)=U_m(t)+\Delta U(t)/2$.

- Transformées de Laplace des tensions : $U_g(p)$, $U_d(p)$ et $\Delta U(p)$.
- Transformées de Laplace des vitesses de rotation : $\Omega_g(p)$, $\Omega_d(p)$ et $\Delta\Omega(p)$.

On donne les tracés de la réponse à un échelon des chaînes de propulsion gauche et droite.





Question 4 *Déterminer par identification les expressions des fonctions de transfert $H_g(p) = \dfrac{\Omega_g(p)}{U_g(p)}$ et $H_d(p) = \dfrac{\Omega_d(p)}{U_d(p)}$. Donner les valeurs numériques des coefficients de ces fonctions de transfert.*

Question 5 *À l'aide des relations ci-dessus, déterminer la fonction de transfert en boucle fermée du groupe propulsion $H_1(p) = \dfrac{\Delta\Omega(p)}{\Delta U(p)}$. Montrer que cette fonction de transfert peut se mettre sous la forme d'un système du premier ordre.*

Détermination de la fonction de transfert $H_2(p)$ du suivi de la trajectoire

La modélisation par schéma bloc du suivi de la trajectoire est ci-dessous. La position du robot est repérée dans le plan $\left(O, \overrightarrow{x}, \overrightarrow{y}\right)$ par ses coordonnées $x(t)$ et $y(t)$ ainsi que par l'angle du robot avec la ligne moyenne $\varphi(t)$.

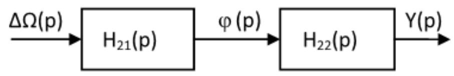


Schéma-bloc du suivi de trajectoire.

On donne le modèle de connaissance du suivi de trajectoire obtenu à l'aide de modèles cinématiques. On supposera que toutes les conditions initiales sont nulles et que e et R sont des coefficients constants.

	Modèle de connaissance
La vitesse de rotation du robot $\frac{d}{dt}\varphi(t)$ par rapport à la verticale ascendante dépend du rayon des roues R, de la demi-largeur du robot noté e et de la différence de vitesse de rotation angulaire entre roues droites et roues gauches	$R.\Delta\omega(t) = 2.e.\frac{d}{dt}\varphi(t)$
Pour des petits angles, la vitesse de déplacement latéral $\frac{d}{dt}y(t)$ dépend de la vitesse de translation du robot suivant l'axe $\vec{x}$ noté V et de l'angle de rotation du robot par rapport à la verticale ascendante $\varphi(t)$	$\frac{d}{dt}y(t) = V.\varphi(t)$

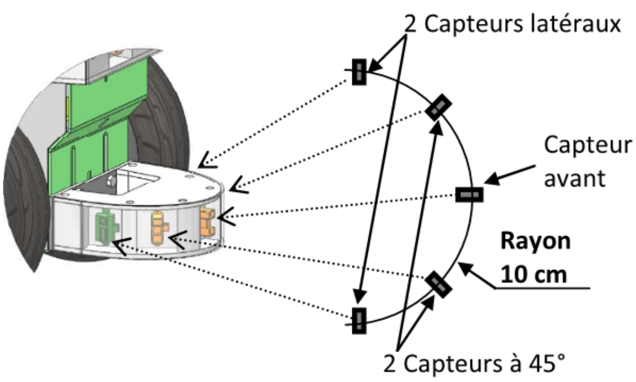
Question 6 *Appliquer la transformée de Laplace sur les 2 relations cinématiques proposées.*

Question 7 *En déduire l'expression des fonctions de transfert $H_{21}(p)$, $H_{22}(p)$ puis $H_2(p)$.*

Détermination de la fonction de transfert $H_3(p)$ correspondant au « capteur de distance »

Les 5 capteurs utilisés pour le guidage dans le rang de culture sont installés sur un demi-cercle à l'avant du robot :

- capteur avant pour la détection des obstacles ;
- capteurs latéraux pour la mesure de distance avec les cultures ;
- capteurs à 45°pour la mesure de distance avec avant anticipation.



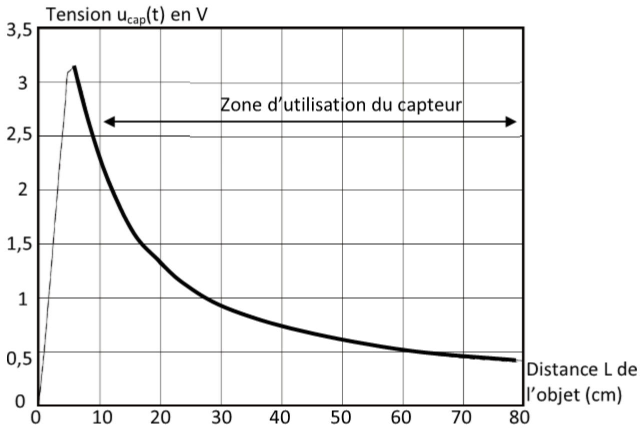
Localisation des capteurs (vue de dessus)

Ces 5 capteurs de distance qui détectent la présence d'objets entre 10 et 80 cm sont des capteurs infrarouges type « télémètre ». Ils ont une courbe de réponse $u_{cap}(t)$ en fonction de la distance L de l'objet.

On suppose que seuls les 2 capteurs latéraux sont utilisés pendant le déplacement en ligne droite. Ils sont utilisés en différentiel tel que : $u_{mes}(t) = u_{capt\,gauche}(t) - u_{capt\,droit}(t)$.

Notation : transformée de Laplace de la tension $u_{mes}(t)$: $U_{mes}(p)$.

La fonction de transfert $H_3(p) = \dfrac{U_{mes}(p)}{Y(p)}$ du bloc « capteur de distance » est supposée réduite à un gain pur noté K_c . On note $u_{capt\,0}$ la tension fournie par les 2 capteurs latéraux lorsque le robot est centré entre les 2 rangs de culture distants de 70 cm.



Courbe de réponse $u_{cap}(t) = f(L)$.

Question 8 *Réaliser un schéma en vue de dessus permettant de visualiser le robot positionné dans l'allée avec ses 2 capteurs latéraux. Indiquer sur ce schéma les distances entre les capteurs et les rangées de culture.*

Question 9 *Quelle est la valeur de la tension u à 0,1 V près ? Quelle est la tension $u_{capt\,droit}$ lorsque le robot est décalé de $y = +5$ cm suivant l'axe $\overrightarrow{y}$ entre ces 2 rangs de culture ? Quelle est la tension $u_{capt\,gauche}$ à ce même instant ?*

Question 10 *En déduire le gain K_c du bloc « capteur de distance » autour de ce point de fonctionnement et préciser son unité.*

Réglage du gain d'adaptation

Le bloc d'adaptation est un gain proportionnel noté K_a qui permet de convertir la consigne $y_{consigne}(t)$ en une tension $u_{consigne}(t)$ image de la consigne.

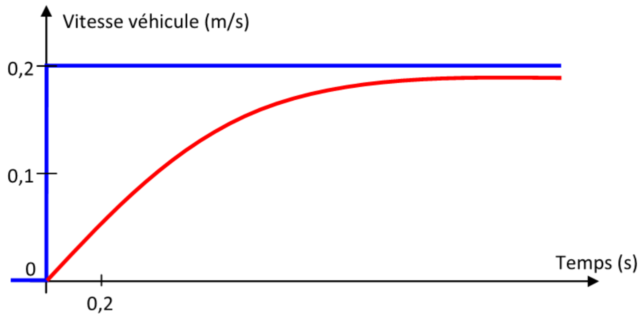
Question 11 *Comment choisir le gain d'adaptation K_a pour que la position $y(t)$ en sortie de l'asservissement soit correctement asservie sur la position de consigne $y_{consigne}(t)$ (on cherche dans ce cas à obtenir un écart $\varepsilon(p)$ nul lorsque la consigne et la sortie sont égales).*

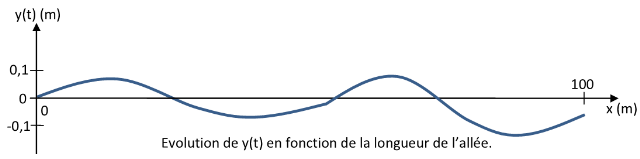
On considère dans un premier temps que le correcteur est un correcteur proportionnel. On note donc la fonction de transfert de ce dernier $C(p) = K_p$.

Question 12 *Déterminer la fonction de transfert boucle ouverte $FTBO(p) = \dfrac{U_{mes}(p)}{\varepsilon(p)}$. Donner la classe et l'ordre de cette fonction de transfert.*

Analyse des performances obtenues.

On donne ci-dessous la courbe donnant l'évolution du paramètre $y(t)$ sur une allée de 100 m pour un premier réglage de correcteur. On donne d'autre part la réponse du véhicule en vitesse de translation pour une consigne échelon de 0,2 m/s.





Question 13 *Déterminer si ce réglage semble adapté vis-à-vis des exigences du cahier des charges. Justifier la réponse en laissant notamment apparaître les tracés utiles sur les courbes.*

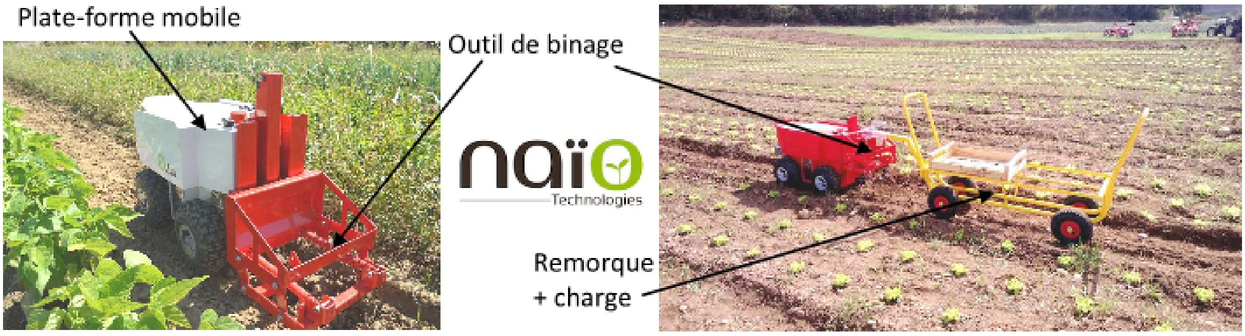
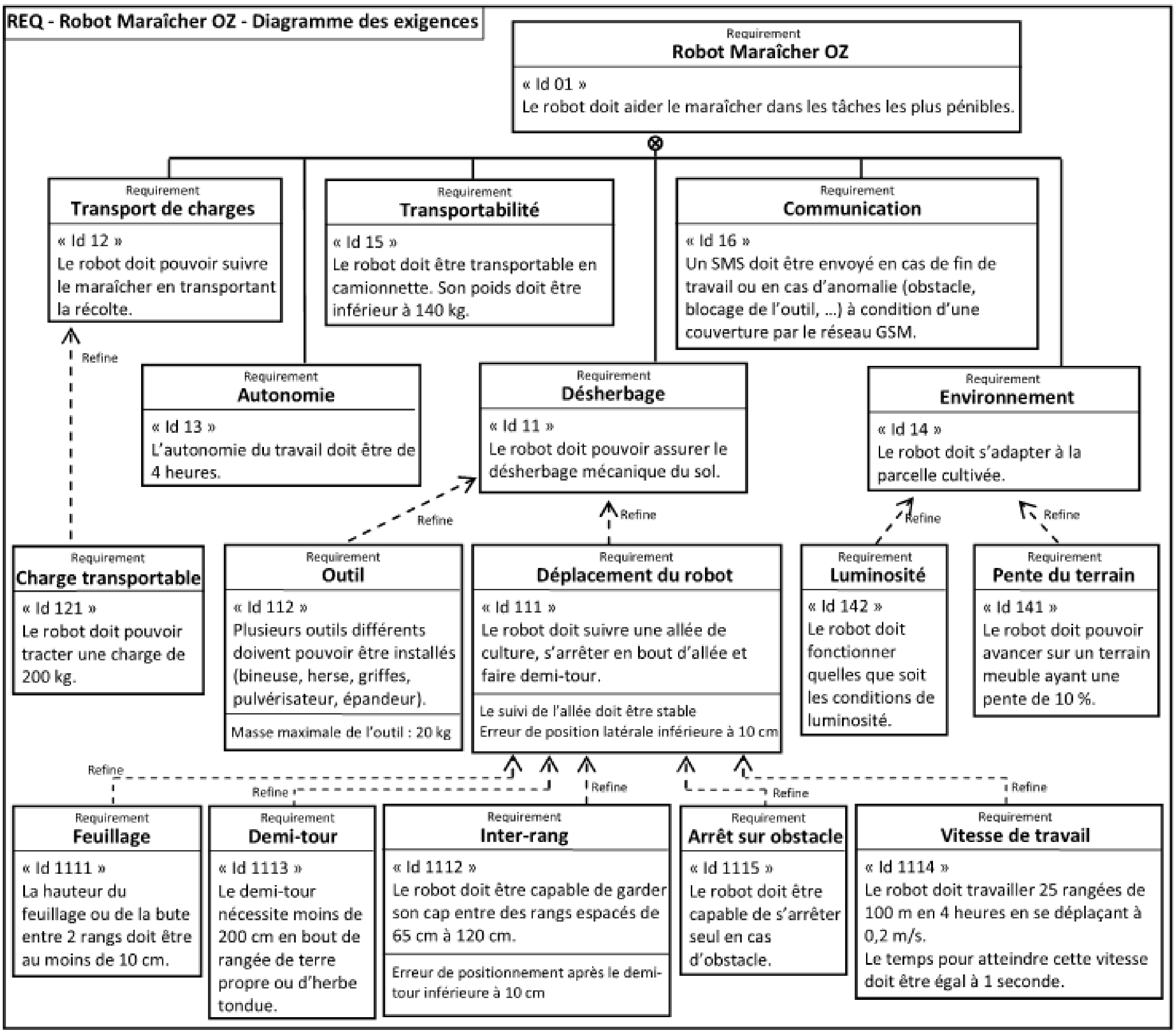


Plate-forme mobile
Outil de binage
naïo
Technologies
Remorque
+ charge


REQ - Robot Maraîcher OZ - Diagramme des exigences
Requirement
Robot Maraîcher OZ
« Id 01 »
Le robot doit aider le maraîcher dans les tâches les plus pénibles.
Requirement
Transport de charges
« Id 12 »
Le robot doit pouvoir suivre le maraîcher en transportant la récolte.
Requirement
Transportabilité
« Id 15 »
Le robot doit être transportable en camionnette. Son poids doit être inférieur à 140 kg.
Requirement
Communication
« Id 16 »
Un SMS doit être envoyé en cas de fin de travail ou en cas d'anomalie (obstacle, blocage de l'outil, ...) à condition d'une couverture par le réseau GSM.
Refine
Requirement
Autonomie
« Id 13 »
L'autonomie du travail doit être de 4 heures.
Requirement
Désherbage
« Id 11 »
Le robot doit pouvoir assurer le désherbage mécanique du sol.
Requirement
Environnement
« Id 14 »
Le robot doit s'adapter à la parcelle cultivée.
Refine
Refine
Refine
Refine
Requirement
Charge transportable
« Id 121 »
Le robot doit pouvoir tracter une charge de 200 kg.
Requirement
Outil
« Id 112 »
Plusieurs outils différents doivent pouvoir être installés (bineuse, herse, griffes, pulvérisateur, épandeur).
Masse maximale de l'outil : 20 kg
Requirement
Déplacement du robot
« Id 111 »
Le robot doit suivre une allée de culture, s'arrêter en bout d'allée et faire demi-tour.
Le suivi de l'allée doit être stable
Erreur de position latérale inférieure à 10 cm
Requirement
Luminosité
« Id 142 »
Le robot doit fonctionner quelles que soit les conditions de luminosité.
Requirement
Pente du terrain
« Id 141 »
Le robot doit pouvoir avancer sur un terrain meuble ayant une pente de 10 %.
Refine
Refine
Refine
Refine
Refine
Requirement
Feuillage
« Id 1111 »
La hauteur du feuillage ou de la bute entre 2 rangs doit être au moins de 10 cm.
Requirement
Demi-tour
« Id 1113 »
Le demi-tour nécessite moins de 200 cm en bout de rangée de terre propre ou d'herbe tondue.
Requirement
Inter-rang
« Id 1112 »
Le robot doit être capable de garder son cap entre des rangs espacés de 65 cm à 120 cm.
Erreur de positionnement après le demi-tour inférieure à 10 cm
Requirement
Arrêt sur obstacle
« Id 1115 »
Le robot doit être capable de s'arrêter seul en cas d'obstacle.
Requirement
Vitesse de travail
« Id 1114 »
Le robot doit travailler 25 rangées de 100 m en 4 heures en se déplaçant à 0,2 m/s.
Le temps pour atteindre cette vitesse doit être égal à 1 seconde.

Application 01 – Corrigé

Robot de maraîchage Oz 440

CCP – MP – Florestan Mathurin

Savoirs et compétences :

- ...

Présentation du système

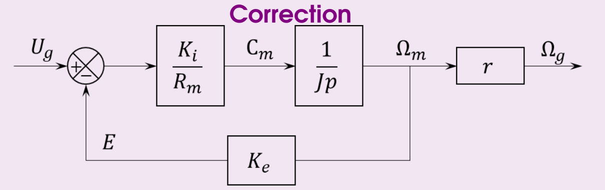
Détermination de la fonction de transfert H 1 (p) du groupe propulsion

Question 1 *Appliquer la transformée de Laplace sur les différentes équations du modèle de connaissance.*

Correction $\Omega_g(p) = r\Omega_m(p)$, $E_m(p) = K_e\Omega_m(p)$, $Jp\Omega_m(p) = C_m(p)$, $U_g(p) = R_m I_m(p) + E_m(p)$, $C_m(p) = K_i I_m(p)$.

Question 2 *Déduire des questions précédentes le schéma-bloc correspondant au groupe propulsion gauche seul.*

Correction



Question 3 *Déterminer l'expression de la fonction de transfert du système en boucle fermée du groupe propulsion gauche $H_g(p) = \dfrac{\Omega_g(p)}{U_g(p)}$ en fonction de r, K_i, K_e, J et R_m. Montrer que cette fonction de transfert peut se mettre sous la forme d'un système du premier ordre $H_g(p) = \dfrac{K}{1+\tau p}$ où K et τ sont 2 constantes à déterminer. Donner les unités de K et τ.*

Correction

$$H_g(p) = \frac{\Omega_g(p)}{U_g(p)} = r\frac{\dfrac{K_i}{R_m J p}}{1+\dfrac{K_i K_e}{R_m J p}} = r\frac{K_i}{R_m J p + K_i K_e}$$

$$= \frac{\dfrac{r}{K_e}}{\dfrac{R_m J}{K_i K_e}p+1}.$$

On a donc $K = \dfrac{r}{K_e}$ en $\text{rad}\,\text{s}^{-1}\text{V}^{-1}$ et $\tau = \dfrac{R_m J}{K_i K_e}$ en s.

Question 4 *Déterminer par identification les expressions des fonctions de transfert $H_g(p) = \dfrac{\Omega_g(p)}{U_g(p)}$ et $H_d(p) = \dfrac{\Omega_d(p)}{U_d(p)}$. Donner les valeurs numériques des coefficients de ces fonctions de transfert.*

Correction Par identification, on obtient $H_g(p) = H_d(p) = \dfrac{6,4}{1+0,3p}$.

Question 5 *À l'aide des relations ci-dessus, déterminer la fonction de transfert en boucle fermée du groupe propulsion $H_1(p) = \dfrac{\Delta\Omega(p)}{\Delta U(p)}$. Montrer que cette fonction de transfert peut se mettre sous la forme d'un système du premier ordre.*

Correction On a $\Delta\Omega(p) = \Omega_d(p) - \Omega_g(p) = H_d(p)U_d(p) - H_g(p)U_g(p)$ avec $H_g(p) = H_d(p)$ on a $\Delta\Omega(p) = H_d(p)\Delta U(p) = \dfrac{K}{1+\tau p}$.

Détermination de la fonction de transfert $H_2(p)$ du suivi de la trajectoire

Question 6 *Appliquer la transformée de Laplace sur les 2 relations cinématiques proposées.*

Correction On a $R\Delta\Omega(p) = 2ep\Phi(p)$ et $pY(p) = V\Phi(p)$.

Question 7 *En déduire l'expression des fonctions de transfert $H_{21}(p)$, $H_{22}(p)$ puis $H_2(p)$.*

Correction On a donc $H_{21}(p) = \dfrac{\Phi(p)}{\Delta\Omega(p)} = \dfrac{R}{2ep}$ et $H_{22}(p) = \dfrac{Y(p)}{\Phi(p)} = \dfrac{V}{p}$ et $H_2(p) = \dfrac{RV}{2ep^2}$.

Détermination de la fonction de transfert $H_3(p)$ correspondant au « capteur de distance »

Question 8 *Réaliser un schéma en vue de dessus permettant de visualiser le robot positionné dans l'allée avec ses 2 capteurs latéraux. Indiquer sur ce schéma les distances entre les capteurs et les rangées de culture.*

Correction

Question 9 *Quelle est la valeur de la tension u à 0,1 V près ? Quelle est la tension $u_{capt\,droit}$ lorsque le robot est décalé de $y = +5\,\text{cm}$ suivant l'axe $\overrightarrow{y}$ entre ces 2 rangs de culture ? Quelle est la tension $u_{capt\,gauche}$ à ce même instant ?*

Correction La largeur du rang étant de 70 cm et les capteurs étant positionnés sur un rayon de 10 cm, on a 25 cm entre le rang et le capteur. En lisant la courbe cela correspond à une tension mesurée de 1,1 V environ.

Si le robot est décalé vers la droite de 5 cm, le capteur de droite sera 20 cm et celui de gauche à 30 cm. Les grandeurs mesurées seront donc de 1,25 V et 0,9 V.

Question 10 *En déduire le gain K_c du bloc « capteur de distance » autour de ce point de fonctionnement et préciser son unité.*

Correction Autour de ce point de fonctionnement, on a $K_c = \dfrac{1,25-0,9}{5\times 10^{-2}} = 7\,\text{V}\,\text{m}^{-1}$.

Réglage du gain d'adaptation

Le bloc d'adaptation est un gain proportionnel noté K_a qui permet de convertir la consigne $y_{\text{consigne}}(t)$ en une tension $u_{\text{consigne}}(t)$ image de la consigne.

Question 11 *Comment choisir le gain d'adaptation K_a pour que la position $y(t)$ en sortie de l'asservissement soit correctement asservie sur la position de consigne $y_{consigne}(t)$ (on cherche dans ce cas à obtenir un écart $\varepsilon(p)$ nul lorsque la consigne et la sortie sont égales).*

Correction On prend $K_a = K_c$.

On considère dans un premier temps que le correcteur est un correcteur proportionnel. On note donc la la fonction de transfert de ce dernier $C(p) = K_p$.

Question 12 *Déterminer la fonction de transfert boucle ouverte FTBO$(p) = \dfrac{U_{mes}(p)}{\varepsilon(p)}$. Donner la classe et l'ordre de cette fonction de transfert.*

Correction La FTBO est donnée par $\text{FTBO}(p) = K_c \dfrac{RV}{2ep^2}\dfrac{K}{1+\tau p}$ qui est une fonction transfert d'ordre 3 et de classe 2.

Analyse des performances obtenues.

Question 13 *Déterminer si ce réglage semble adapté vis-à-vis des exigences du cahier des charges. Justifier la réponse en laissant notamment apparaître les tracés utiles sur les courbes.*

Correction La seule exigence est sur le temps de réponse (1s). L'exigence est satisfaite. (Tracer à faire).