

**TD7 : Introduction à l'asservissement**

**Vélo à assistance électrique VAE**

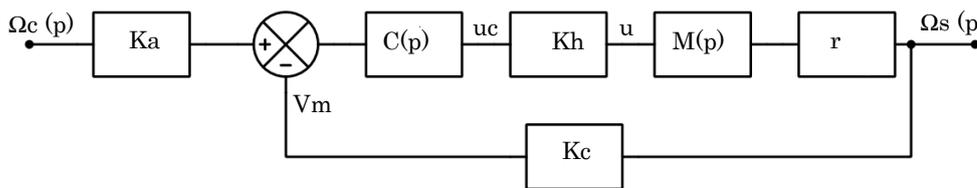
**Présentation**

Les VAE sont des vélos équipés d'un moteur électrique qui assiste le pédalage du cycliste. Cette assistance peut être activée par une commande située sur le guidon et varie en fonction de l'effort fourni par le cycliste sur les pédales. Les VAE sont conçus pour faciliter les déplacements à vélo, notamment en permettant de parcourir de plus longues distances ou de gravir des pentes plus raides sans trop d'effort.

Les VAE sont de plus en plus populaires car ils permettent de se déplacer plus rapidement et plus facilement en ville, tout en offrant les mêmes avantages pour la santé que le vélo traditionnel. Ils sont également une alternative plus écologique aux voitures et aux scooters, car ils ne produisent pas d'émissions nocives.



Les VAE disposent d'une carte de commande qui permet de contrôler et régler la vitesse du moteur à courant continu, qui entraîne la roue arrière et permet ainsi le déplacement du vélo. La figure suivante représente le schéma d'asservissement de la vitesse angulaire de roue arrière :



**Appellations et données :**

- Kc :** gain de transmittance du capteur
- Kh :** Gain du hacheur (Kh=24)
- r :** Rapport de réduction du réducteur (r=30)
- C(p) :** Fonction de transfert du correcteur
- M(p) :** Fonction de transfert du moteur à courant continu MCC

Le moteur utilisé est à excitation par aimant permanent de référence M540 E 24 V 2500 tr/min.

Tension nominale	Couple nominal	inertie totale	La constante de couple K	Résistance d'induit	Inductance d'induit
24 V	0.2 Nm	0.78 10 <sup>-3</sup> Kg.m <sup>2</sup>	0.071 N/A	1.55 Ω	3.39 mH

On considère que l'effet de l'inductance de l'induit est négligé, le comportement électromécanique de la MCC est modélisé par les équations suivantes :

$$\begin{aligned}
 [1]. \quad & um(t) = R.i(t) + e(t) & [2]. \quad & J \frac{d\Omega_m(t)}{dt} = Cm(t) - Cr(t) \\
 [3]. \quad & e(t) = K.\Omega_m(t) & [4]. \quad & Cm(t) = K.i(t)
 \end{aligned}$$

Notant J est le moment total ramené à l'arbre moteur.

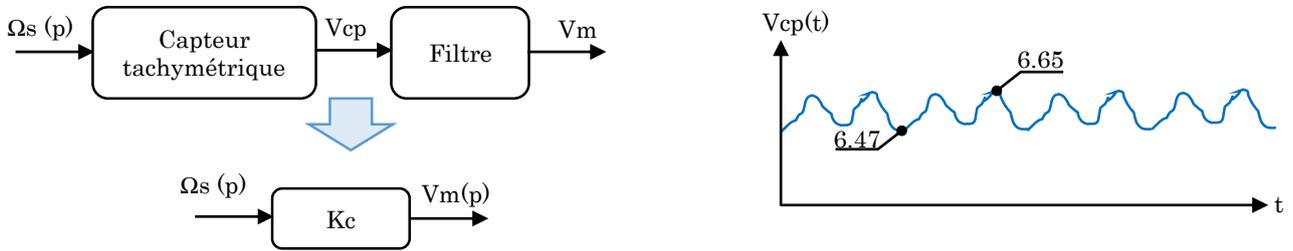
**Cahier des charges**

- o La stabilité : le système doit être purement stable
- o La précision : l'écart statique es<2%.
- o La rapidité : le temps de réponse à 5% intérieur tr<sub>5%</sub>=1s
- o Le régime transitoire : le dépassement indiciel doit être nul afin de protéger des biens et des personnes
- o Le système doit être régler (annule l'effet de la perturbation).

**Modélisation du capteur et bloc d'adaptation**

Le capteur utilisé dans le VAE est un capteur tachymétrique qui permet de mesurer la vitesse de rotation à la sortie du réducteur.

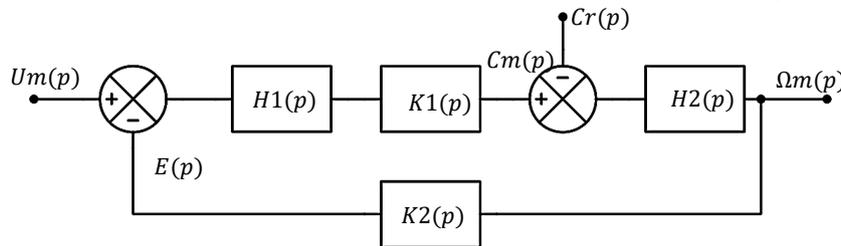
La mesure du capteur dans la figure ci-dessous correspond à une vitesse de sortie de  $N_s=1000$  tr/min. La tension de sortie présente des fluctuations, nécessitant ainsi l'utilisation d'un filtre moyenneur pour calculer la valeur moyenne qui reflète fidèlement l'information relative à la vitesse.



- Q.1/ Pouvez-vous expliquer le rôle d'un capteur dans une chaîne de mesure, ainsi que la nature des grandeurs d'entrée et de sortie de cet asservissement?
- Q.2/ Calculer la valeur moyenne de la tension de sortie du filtre, image de la vitesse de sortie.  
Déduire la valeur du gain  $k_c$  en  $V.s.rad^{-1}$  sachant que la tension  $V_m$  est proportionnelle à la vitesse de rotation de sortie ?
- Q.3/ Comment doit être ajusté le gain  $K_a$  du bloc d'adaptation pour assurer une comparaison correcte des grandeurs?

**Modélisation de la machine à courant continu**

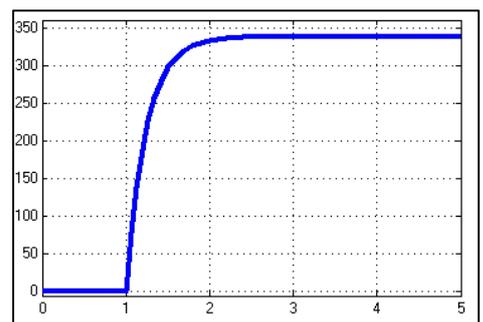
La figure suivante représente un schéma bloc de la machine à courant continu. L'objectif est de trouver la fonction de transfert de chaque bloc.



- Q.4/ En supposant que toutes les conditions initiales nulles, appliquer les transformées de Laplace des équations (1), (2), (3) et (4).
- Q.5/ En utilisant le schéma bloc ainsi que les équations de la machine MCC, déterminer les fonctions de transfert  $H_1$ ,  $H_2$ ,  $H_3$  et  $H_4$ .

Dans la suite, on suppose que le couple résistant est nul et que le signal d'entrée est un échelon de tension  $U_0=24V$ .

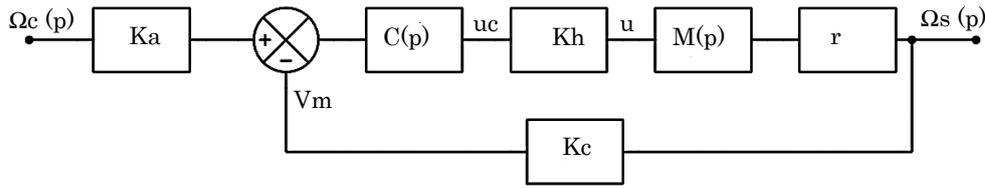
- Q.6/ Déterminer la fonction de transfert :  $F_1(p) = \frac{\Omega_m(p)}{U_m(p)}$
- Q.7/ Calculer la vitesse angulaire en régime permanent  $\Omega_{mf}$ .
- Q.8/ A partir de la réponse indicielle de la machine trouver :
  - a. Le temps de montée  $t_m$ .
  - b. Le temps de réponse à 5%  $t_{r5\%}$ .
  - c. Le dépassement indiciel.
  - d. La valeur finale  $\Omega_{mf}$ .



- Q.9/ Le système est-il stable ? justifier votre réponse.

**Etude de l'asservissement et régulation de VAE**

L'étude maintenant port sur l'asservissement et la régulation de vitesse de VAE, et elle vise à évaluer les performances de deux régulateurs de vitesse de fonction de transfert  $C(p)$ , et on les comparants aux critères exigés par le cahier des charges.



Q.10° Simplifier le schéma bloc ci-dessus en déplaçant le comparateur.

Q.11° Exprimer la fonction de transfert en boucle ouverte FTBO et la fonction de transfert en boucle ouverte en fonction de  $Kc, C(p), Kh, M(p)$  et  $r$ .

**A. Correcteur N°1 :  $C(p) = Kp$**

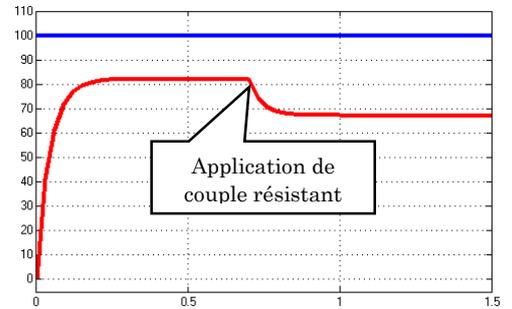
La figure ci-après représente la réponse indicielle du système pour une consigne de vitesse  $\Omega_c(t) = 100 \text{ rad/s}$  :

Q.12° Déterminer les performances du système :

- Erreur statique en rad/s puis %
- Dépassement indiciels
- Temps de réponse à 5%

Ce correcteur respect-il le cahier des charges ?

Q.13° Est-ce que le système est réglé (annule l'effet de perturbation) ? justifier votre réponse.



**B. Correcteur N°2 :  $C(p) = Kp (1 + \frac{1}{TIP})$**

La figure ci-après représente la réponse indicielle du système pour une consigne de vitesse  $\Omega_c(t) = 100 \text{ rad/s}$  :

Q.14° Déterminer les performances du système :

- Erreur statique en rad/s puis %
- Dépassement indiciels
- Temps de réponse à 5%

Ce correcteur respect-il le cahier des charges ?

Q.15° Est-ce que le système est réglé (annule l'effet de perturbation) ? justifier votre réponse.

