TD12 : analyse fréquentielle

Ventilation mécanique en médecine

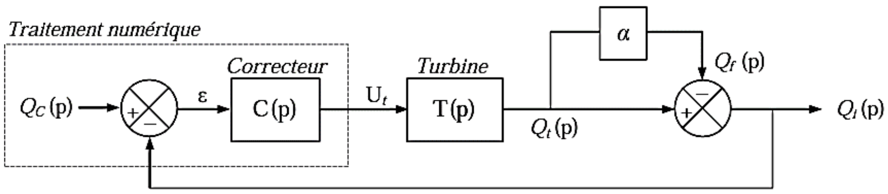
Présentation du système

La ventilation mécanique en médecine est une ventilation artificielle qui consiste à remplacer ou assister la respiration spontanée à l'aide d'une machine, communément appelé « ventilateur » ou « respirateur ». En 2020, la pandémie de Covid-19 a mis en évidence la pénurie mondiale de ventilateurs, la forte demande a mobilisé même le secteur automobile pour contribuer à la production de l'équipement essentiel aux patients gravement atteints.

Le respirateur permet de faire entrer l'air dans les poumons afin d'oxygéner le sang et d'éliminer le gaz carbonique. Il assure donc la respiration artificielle d'un malade lors d'une opération chirurgicale ou lors d'une insuffisance respiratoire aiguë.

L'appareil doit être relié aux poumons par un masque positionné sur le visage (ventilation dite non invasive) ou par une sonde d'intubation ou de trachéotomie (ventilation dite invasive).

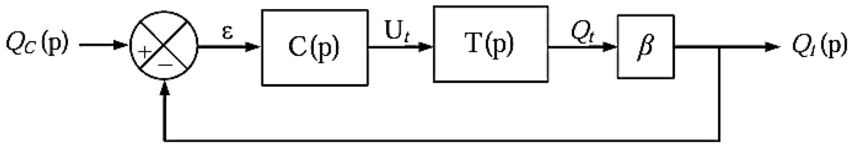
La taille des poumons est moindre chez les enfants que chez les adultes, un asservissement du débit est donc nécessaire pour délivrer un volume courant adapté à l'âge et au poids de patient. Le schéma bloc de cet asservissement est donné à la figure 1 :



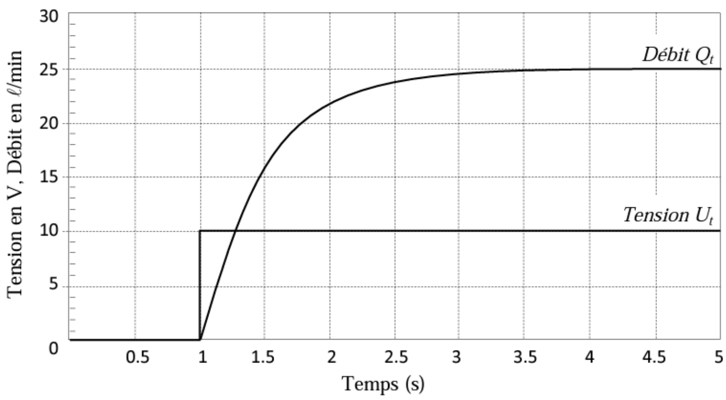
On note :

- QC, Qt, Qf et Qi : respectivement le débit consigne, le débit turbiné, le débit de l'ensemble des fuites et le débit insufflé.
- α : coefficient modélisant le pourcentage des fuites dans la ligne d'inspiration. Au-delà d'un seuil de 20%, la turbine ne compense plus ces fuites et une alarme est déclenchée.

Q.1. En déterminant l'expression de β, Rendre le schéma bloc précédent sous la forme simplifiée :



Le modèle de comportement de la turbine est semblable à celui d'une machine à courant continu. On donne une simulation de sa réponse indicielle.

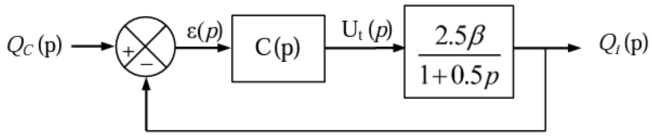


La fonction de transfert T(p) peut être mise sous la forme :

$$T(p) = \frac{K}{1+\tau p}$$

Q.2. En utilisant la figure ci-après, donner, en justifiant, les valeurs des grandeurs K et τ en précisant leurs unités.

Pour la suite on considère le schéma bloc simplifié :



Q.3. Pour un correcteur proportionnel $C(p) = Kp$ et pour une consigne en échelon dont la transformée de Laplace est : $Qc(p) = \frac{Q_o}{p}$, On donne : $\beta = 80\%$, $Kp = 7$ et Qo= 250 ml/s

a. Exprimer la fonction de transfert en boucle ouverte $Hbo(p)$ et la mettre sous la forme $Hbo(p) = \frac{Ko}{1+T\,p}$

Que vaut les valeurs de Ko et T.

Déduire le temps de réponse à 5%.

b. Exprimer la fonction de transfert complexe $Hbo(j\omega)$ et la mettre sous la forme $Hbo(p) = \frac{A}{1+j\frac{\omega}{\omega_o}}$

Que vaut les valeurs de A et ω_O.

Déduire les expressions du module $|Hbo(j\omega)|$ et l'argument $Arg\big(Hbo(j\omega)\big)$

c. Tracer le diagramme de Bode de $Hbo(j\omega)$.

d. Calculer la pulsation ω1 pour laquelle le module de la boucle ouverte est de 1 (le Gain G=0 dB). Calculer le déphasage à la pulsation ω1.

Q.4. Pour un correcteur intégral $C(p) = \frac{Kp}{p}$ et pour une consigne en échelon dont la transformée de Laplace est : $Qc(p) = \frac{Q_o}{p}$, On donne : $\beta = 80\%$, $Kp = 7$ et Qo= 250 ml/s

a. Exprimer la fonction de transfert complexe $Hbo(j\omega)$ et la mettre sous la forme $Hbo(p) = \frac{1}{j\frac{\omega}{\omega_o}\left(1+j\frac{\omega}{\omega_1}\right)}$

Que vaut les valeurs de ω_O et ω_1.

Déduire les expressions du module $|Hbo(j\omega)|$ et l'argument $Arg\big(Hbo(j\omega)\big)$

b. Tracer le diagramme de Bode de $Hbo(j\omega)$.

c. Calculer la pulsation ωb pour laquelle la phase de la boucle ouverte est de -145°. Calculer le gain en dB à la pulsation ωb.