

Éléments de correction « Régulation de débit »

On va analyser le fonctionnement d'une boucle de régulation de débit d'un liquide.

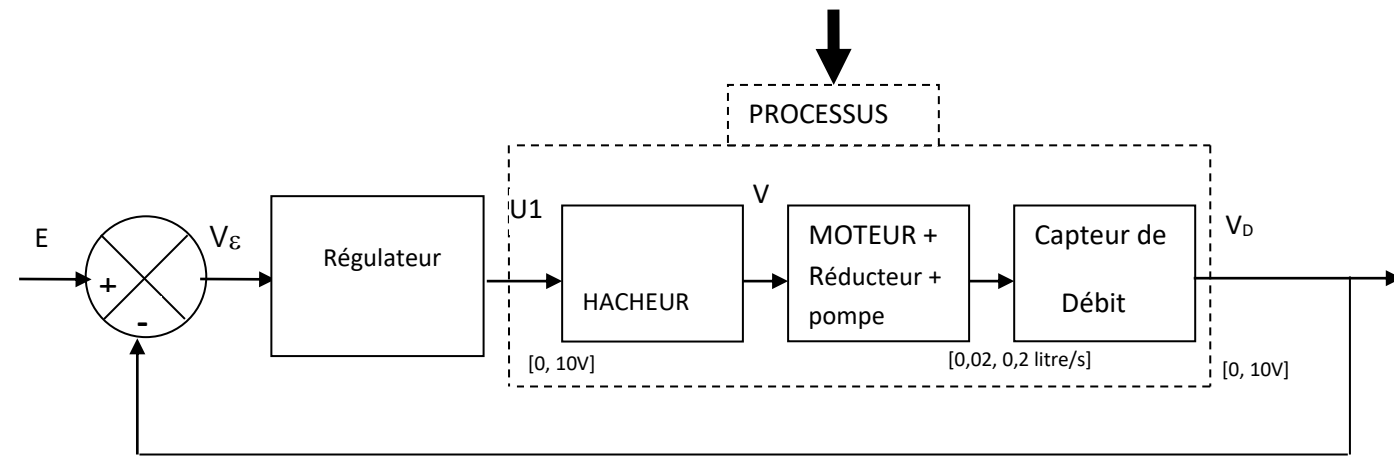
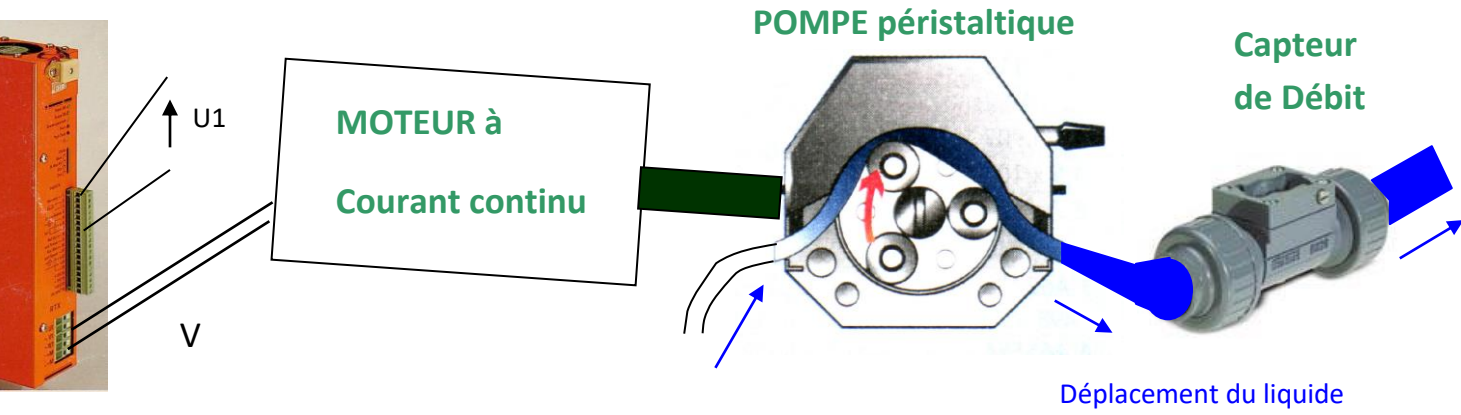
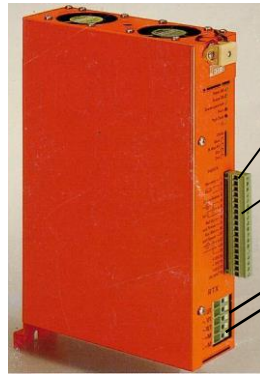
Le schéma de la boucle est donné en page suivante.

Le Processus est constitué de :

- Un hacheur (tension d'entrée $U_1 \in [0, +10V]$)
- Un moteur à courant continu à aimants permanents commandé par sa tension d'induit (V)
- Un réducteur mécanique de vitesse de sortie Ω
- Une pompe péristaltique (l'axe tournant entraîne 3 galets en rotation qui écrasent un tuyau, ce qui permet le déplacement du liquide)
- Un capteur qui mesure le débit de liquide en sortie de la pompe. Ce capteur donne une tension de sortie $VD \in [0, +10V]$ proportionnelle au débit de liquide évoluant entre 0,02 litre/seconde et 0,2 litre/seconde

Remarque : la tension de sortie V du hacheur est décalée de façon à ce que, pour une entrée $U_1 = 0$, le moteur tourne afin d'assurer un débit minimum de 0,02 l/s. Ce décalage n'est pas représenté sur le schéma de la figure 1.

HACHEUR



Signe distinctif :

Etude en boucle fermée avec correction proportionnelle

On suppose que le régulateur est un amplificateur de gain G positif et ajustable.

On suppose par ailleurs, **pour toute la suite du problème**, que la fonction de transfert du

processus est la suivante : $\frac{V_D}{U_1} = \frac{K}{1 + \tau p}$ avec : K = 2, $\tau = 0,5s$

Pour les questions suivantes, on se place en **boucle fermée** :

Question	Explications	Résultat
Calculer littéralement la fonction de transfert en boucle fermée : $\frac{V_D}{E}(p) = f(K, G, \tau)$		$\frac{KG}{1 + KG} \cdot \frac{1}{1 + \frac{\tau}{1 + KG} p}$
Quelles sont les valeurs de la constante de temps τ' et du gain statique G' pour la valeur choisie $G = 2$ On conservera cette valeur $G = 2$ pour les questions suivantes (correction proportionnelle).	$G' = \frac{KG}{1 + KG}$ $\tau' = \frac{\tau}{1 + KG}$	$G' = 0,8$ $\tau' = 0,1s$
Sans calcul, tracer la réponse indicielle V_D pour un échelon de position sur E variant de 0 à 2Volts (conditions initiales nulles).		
Quelle est la valeur de l'erreur de position $V_{\epsilon P}$ pour E = 2 Volts ?		$V_{\epsilon P} = 0,4V$
Sans calcul, donner l'expression de l'erreur de vitesse pour une consigne en rampe.	Pas d'intégration en boucle ouverte Donc : $V_{\epsilon V}$ tend vers l'infini	

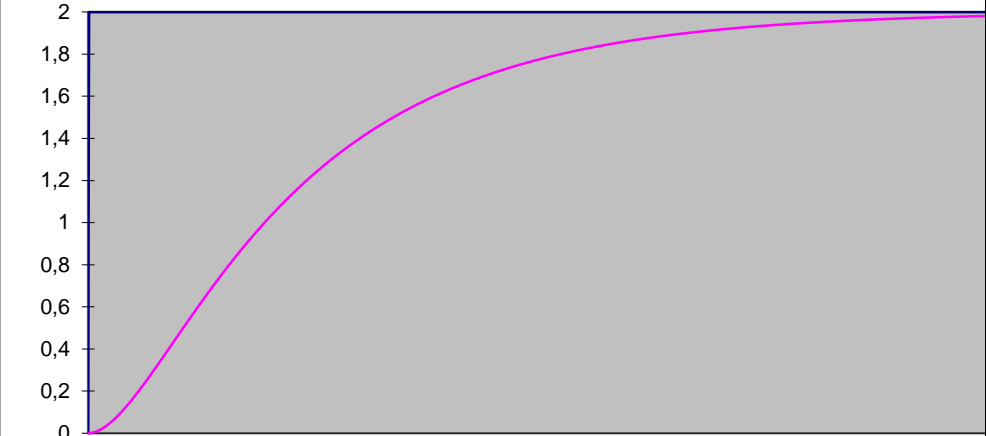
Signe distinctif :

Etude en boucle fermée avec correction proportionnelle-intégrale N°1

On remplace le gain G par un régulateur de fonction de transfert : $\frac{G}{p}$

Question	Explications	Résultat
<p>Calculer la fonction de transfert en boucle fermée :</p> $\frac{V_D}{E}(p) = f(K, G, \tau)$		$\frac{V_D}{E} = \frac{1}{\frac{\tau}{GK}p^2 + \frac{p}{GK} + 1}$
<p>Quelles sont les valeurs du gain statique K', de la pulsation naturelle ω_0 et de l'amortissement Z en fonction de (K, G, τ). Calculer leurs valeurs numériques pour G = 0,16.</p> <p>On conservera cette valeur de G pour les questions suivantes (correction PI N°1)</p> <p>Rappel : fonction passe-bas d'ordre 2 standard :</p> $\frac{k}{\frac{p^2}{\omega_0^2} + \frac{2Z}{\omega_0}p + 1}$	$\omega_0 = \sqrt{\frac{GK}{\tau}}$ $Z = \frac{1}{2\sqrt{GK\tau}}$	<p>K' = 1 $\omega_0 = 0,8$ rad/s Z = 1,25</p>
<p>Calculer les pôles de la fonction de transfert en boucle fermée $\frac{V_D}{E}(p)$. Pourquoi la boucle fermée est-elle stable ?</p>	$\frac{V_D}{E} = \frac{1}{1,56p^2 + 3,12p + 1}$	<p>$P_1 = -0,4$ $P_2 = -1,6$</p> <p>Boucle fermée stable car pôles réels négatifs</p>

Signe distinctif :

Question	Explications	Résultat
<p>Utiliser les résultats de la question précédente pour mettre la fonction de transfert en boucle fermée sous la forme :</p> $\frac{V_D}{E}(p) = \frac{K'}{(1 + \tau_1 p)(1 + \tau_2 p)}$ <p>Donner les valeurs numériques de τ_1 et τ_2</p>	$\frac{V_D}{E} = \frac{1}{(1 + 2,5p)(1 + 0,625p)}$	$\tau_1 = 2,5s$ $\tau_2 = 0,625s$
<p>Quelle est la valeur de l'erreur de position $V_{\epsilon P}$. Comment pouvait-on prévoir ce résultat sans calcul ?</p>	<p>Intégration en boucle ouverte</p>	$V_{\epsilon P} = 0$
<p>En utilisant les résultats précédents, tracer, sans calcul, l'allure approximative de la réponse indicielle V_D (échelon de position variant de 0 à 2 Volts, conditions initiales nulles).</p> <p>Quelle est la valeur de V_D en régime permanent ?</p>		
<p>Calculer l'erreur de vitesse pour une rampe sur la consigne de pente 2V/s.</p> <p>On rappelle l'expression générale de l'erreur de vitesse : $\epsilon_V = \frac{\text{Pente de la rampe}}{\lim_{p \rightarrow 0} p(\text{boucle ouverte})}$</p>		$V_{\epsilon V} = 6,25 \text{ V}$ (très importante !)

Signe distinctif :

Question	Explications	Résultat
Comment évoluent l'amortissement Z en boucle fermée et l'erreur de vitesse lorsque G augmente ?	Z diminue (risque de dépassement en réponse indicielle) $V_{\epsilon V}$ diminue	
<ul style="list-style-type: none"> -Tracer les lieux de Bode asymptotiques en boucle ouverte pour G = 1. -Calculer le module de la boucle ouverte au point de cassure. -Positionner la courbe asymptotique 3 dB au-dessus. -Placer l'axe 0 dB pour G = 0,16 -Quelle est la marge de phase correspondante ? -Placer approximativement l'axe 0dB pour G = 0,16 -En déduire l'ordre de grandeur de la marge de phase pour G = 0,16 (une valeur grossière suffira). 	<p style="text-align: center;">(-1) 0 dB pour G = 0,16</p> <p style="text-align: center;">0 dB pour G = 1</p> <p style="text-align: center;">$\omega = 0,3 \text{ rad/s}$ (environ) $\omega = 2 \text{ rad/s}$</p> <p style="text-align: center;">(-2)</p> <p style="text-align: center;">-90°</p> <p style="text-align: center;">$M_\phi = 85^\circ$ (environ) $M_\phi = 45^\circ$ (environ)</p> <p style="text-align: center;">-180°</p>	

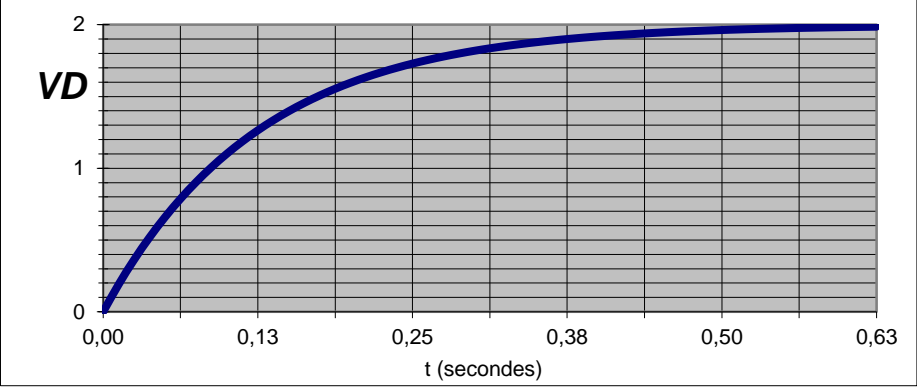
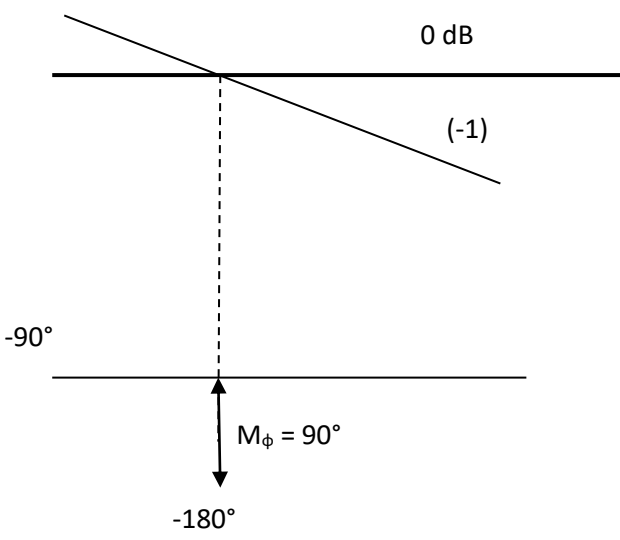
Etude en boucle fermée avec correction proportionnelle-intégrale N°2

On remplace le régulateur $\frac{G}{p}$ par un régulateur de fonction de transfert : $\frac{G(1+Tp)}{Tp}$

avec : $T = 0,5s = \tau$

Question	Explications	Résultat
Calculer littéralement la fonction de transfert en boucle fermée : $\frac{V_D}{E}(p) = f(K, G, \tau)$		$\frac{V_D}{E} = \frac{1}{1 + \frac{\tau}{GK}p}$

Signe distinctif :

Question	Explications	Résultat
<p>Sans calcul, tracer la réponse indicielle V_D pour un échelon de position sur E variant de 0 à 2Volts (conditions initiales nulles) pour : $G = 2$ On conservera cette valeur pour les questions suivantes.</p>		
<p>Quelle est la valeur de l'erreur de position V_{EP} (justifier ce résultat).</p>	$V_{EP} = 0$	
<p>Calculer l'erreur de vitesse pour une rampe sur la consigne de pente 2V/s.</p>	$V_{EV} = 0,25 \text{ V}$	
<p>Tracer les lieux de Bode asymptotiques en boucle ouverte ($G = 2$). En déduire la marge de phase.</p>		
<p>Conclusion : pourquoi utiliser le régulateur de fonction de transfert : $\frac{G(1+Tp)}{Tp}$ Plutôt que : $\frac{G}{p}$</p>	<p>Marge de phase importante (indépendante de G) Pas de risque de dépassement si G augmente Erreur de vitesse réglable si G augmente</p>	

Signe distinctif :