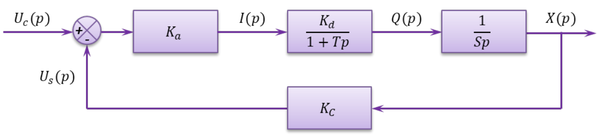
Exercice 1 – Vérin⋆

B2-07 **Pas de corrigé pour cet exercice.**

Question 1 *Réaliser le schéma-blocs.*

On a :

- $U_c(p) = \dfrac{1}{K_a} I(p) + U_s(p)$
- $Q(p) = SpX(p)$
- $U_S(p) = K_C \cdot X(p)$
- $F(p) = \dfrac{Q(p)}{I(p)} = \dfrac{K_d}{1+Tp}$



Exercice 2 – Prothèse active transtibiale⋆

B2-07

Présentation

Comportement dynamique de la prothèse

Question 1 *À partir des équations caractérisant le système, déterminer les expressions littérales des fonctions de transfert $H_1(p)$, $H_2(p)$, $H_3(p)$ et $H_6(p)$.*

Correction On a d'une part, $C_M(p) = H_1(p)\big(U_M(p) - \Omega_M(p)\big)$.

D'autre part, en utilisant les deux équations du moteur électrique, on a $U_M(p) = RI(p) + E(p)$ et $E(p) = k_c\Omega_M(p)$ soit $U_M(p) = RI(p) + k_c\Omega_M(p)$. De plus $C_M(p) = k_c I(p)$; donc $U_M(p) = R\dfrac{C_M(p)}{k_c} + k_c\Omega_M(p)$. Par suite, $C_M(p) = \dfrac{k_c}{R}\big(U_M(p) - k_c\Omega_M(p)\big)$.

En identifiant, on a donc $H_1(p) = \dfrac{k_c}{R}$ et $H_6(p) = k_c$.

D'après le schéma-blocs,
$\Delta\alpha(p) = \big(C(p) - C_M(p)H_2(p)\big)H_3(p)H_4(p)$ soit

En utilisant l'équation différentielle caractéristique du comportement de la prothèse, on a : $J_M p^2 \Delta\alpha(p) + \mu_m p \Delta\alpha(p) = C_M(p)R_T - C(p)R_T^2 \Leftrightarrow \Delta\alpha(p)\big(J_M p^2 + \mu_m p\big) = C_M(p)R_T - C(p)R_T^2$

$$\Leftrightarrow \Delta\alpha(p) = \frac{R_T^2}{J_M p^2 + \mu_m p}\left(\frac{C_M(p)}{R_T} - C(p)\right).$$

Or, $\Delta\alpha(p) = \dfrac{1}{p}\Delta\alpha'(p)$; donc $H_4(p) = \dfrac{1}{p}$.

Au final, $H_3(p) = \dfrac{R_T^2}{J_M p + \mu_m}$ et $H_2(p) = R_T$.

Question 2 *Déterminer la fonction de transfert en boucle fermée $\mathrm{FTBF}(p) = \dfrac{C(p)}{U_M(p)}$.*

Correction On déplace le dernier point de prélèvement avant H_4. On ajoute donc $H_4(p)H_7(p)$ dans la retour.

On a alors $F(p) = \dfrac{\Delta\alpha'(p)}{-} = \dfrac{H_3(p)}{1 + H_3(p)H_4(p)H_7(p)}$.

$$\mathrm{FTBF}(p) = \frac{H_1(p)H_2(p)F(p)}{1 + H_1(p)H_2(p)H_5(p)H_6(p)F(p)} H_4(p)H_7(p).$$

$$\text{Soit } \mathrm{FTBF}(p) = \frac{H_1(p)H_2(p)\dfrac{H_3(p)}{1 + H_3(p)H_4(p)H_7(p)}}{1 + H_1(p)H_2(p)H_5(p)H_6(p)\dfrac{H_3(p)}{1 + H_3(p)H_4(p)H_7(p)}} H_4$$

$$= \frac{H_1(p)H_2(p)H_3(p)}{1 + H_3(p)H_4(p)H_7(p) + H_1(p)H_2(p)H_5(p)H_6(p)H_3(p)} H_4(p)H_7(p)$$

$$= \frac{\dfrac{k_c}{R} R_T \dfrac{R_T^2}{J_M p + \mu_m}}{1 + \dfrac{R_T^2}{J_M p + \mu_m}\dfrac{k_{RS} d_0^2}{p} + \dfrac{k_c}{R} R_T \dfrac{1}{R_T} k_c \dfrac{R_T^2}{J_M p + \mu_m}} \frac{k_{RS} d_0^2}{p}$$

$$= \frac{\dfrac{k_c}{1} R_T^3}{J_M R p^2 + \mu_m R p + R_T R^2 k_{RS} d_0^2 + p k_c k_c R_T^2} k_{RS} d_0^2$$

$$= \frac{k_c R_T^3}{J_M R p^2 + p\left(\mu_m R + k_c k_c R_T^2\right) + R_T R^2 k_{RS} d_0^2} k_{RS} d_0^2.$$

Analyse des performances de l'asservissement en couple

Question 3 *À l'aide des courbes, valider l'ensemble des critères du cahier des charges en justifiant clairement vos réponses.*

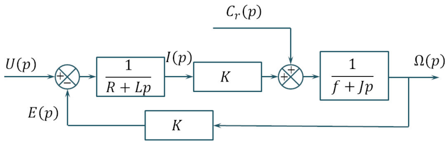
Correction

- Le régime permanent semble atteint autour de 0,03 s ; donc les critère de rapidité est respécté.
- En régime permanent, le couple atteint est de 46 Nm pour une consigne de 50 Nm. Un écart de 10 % correspondrait à un couple atteint de 45 Nm. Le critère de précision est respecté.

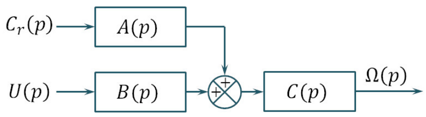
Exercice 3 – Moteur à courant continu⋆

B2-07

Question 1 *Réaliser le schéma-blocs.*



Question 2 *Mettre le schéma-blocs sous la forme suivante.*



En utilisant le schéma-blocs proposé, on a $\Omega(p) = \left(C_r(p)A(p)+U(p)B(p)\right)C(p)$.

D'autre part, $\Omega(p)=\left(C_r(p)+\frac{K}{R+Lp}\left(U(p)-K\Omega(p)\right)\right)\frac{}{f}$

On a donc $\left(f+Jp\right)\Omega(p)=C_r(p)+U(p)\frac{K}{R+Lp}$

$\Leftrightarrow \left(f+Jp\right)\Omega(p)+\frac{K^2}{R+Lp}\Omega(p)=C_r(p)+U(p)\frac{K}{R+Lp}$

$\Leftrightarrow \left(\left(f+Jp\right)+\frac{K^2}{R+Lp}\right)\Omega(p)=C_r(p)+U(p)\frac{K}{R+Lp}$

$\Leftrightarrow \frac{K^2+\left(f+Jp\right)\left(R+Lp\right)}{R+Lp}\Omega(p) = C_r(p) + U(p)\frac{K}{R+Lp}$

$\Leftrightarrow \Omega(p)=\left(C_r(p)+U(p)\frac{K}{R+Lp}\right)\frac{R+Lp}{K^2+\left(f+Jp\right)\left(R+Lp\right.}$

Dés lors plusieurs schéma-blocs peuvent répondre à la question. Par exemple, $A(p) = 1$, $B(p) = \frac{K}{R+Lp}$, $C(p)=\frac{R+Lp}{K^2+\left(f+Jp\right)\left(R+Lp\right)}$.

En poursuivant, on a aussi : $\Omega(p)=\left(C_r(p)(R+Lp)+U(p\right.$

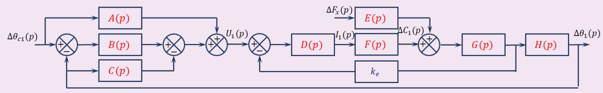
On a donc aussi, $A(p) = R+Lp$, $B(p) = K$, $C(p) = \frac{1}{K^2+\left(f+Jp\right)\left(R+Lp\right)}$

Exercice 4 – Conception de la commande d'un robot chirurgical⋆

B2-07

Question 1 *Compléter le schéma-blocs.*

Correction



En utilisant l'équation électrique du MCC, on a $U_1(p)=\left(Lp+R\right)I_1(p)+E_1(p)$. En utilisant le schéma-blocs : $I_1(p)=\left(U_1(p)-E(p)\right)D(p)$. On a donc $I_1(p)=\frac{U_1(p)-E(p)}{R+Lp}$ et $D(p)=\frac{1}{R+Lp}$.

En utilisant la première relation de comportement du MCC, on a $E_1(p)$ en sortie du bloc k_e et $p\Delta_1(p)$ en entrée; donc $H(p)=\frac{1}{p}$.

En utilisant la seconde relation, on a $F(p)=k_t$.

En utilisant l'équation de mouvement de l'axe 1, on a : $\Delta C_1(p)=Jp^2\Delta\theta_1(p)-k_1\frac{r_9'}{r_0}h_2\Delta F_x(p)$.

D'après le schéma-blocs, on a $\Delta\theta_1(p) = \left(\Delta C_1(p)+\Delta F_x(p)E(p)\right)G(p)H(p)$.

En réageançant l'équation, on a $Jp^2\Delta\theta_1(p) = \Delta C_1(p)+k_1\frac{r_9'}{r_0}h_2\Delta F_x(p) \Leftrightarrow \Delta\theta_1(p)=\left(\Delta C_1(p)+k_1\frac{r_9'}{r_0}h_2\Delta F_x(p)\right)\frac{1}{Jp^2}$.

On a donc $E(p)=k_1\frac{r_9'}{r_0}h_2$.

De plus $G(p)H(p)=\frac{1}{Jp^2}$ et $H(p)=\frac{1}{p}$; donc $G(p)=\frac{1}{Jp}$.

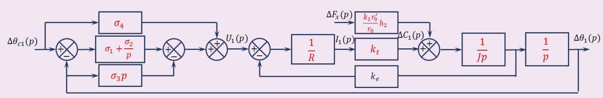
En utilisant l'équation électrique du MCC, on a $U_1(p)=\left(Lp+R\right)I_1(p)+E_1(p)$. En utilisant le schéma-blocs : $I_1(p)=\left(U_1(p)-E(p)\right)D(p)$. On a donc $I_1(p)=\frac{U_1(p)-E(p)}{R+Lp}$ et $D(p)=\frac{1}{R+Lp}$.

En utilisant l'équation du PID, on a $U_1(p) = \left(\Delta\theta_{c1}(p)-\Delta\theta_1(p)\right)\left(\sigma_1+\frac{\sigma_2}{p}\right) - \sigma_3 p\Delta\theta_1(p) + \sigma_4\Delta\theta_{c1}(p)$ soit $U_1(p)=\left(\Delta\theta_{c1}(p)\left(\sigma_1+\frac{\sigma_2}{p}\right)-\Delta\theta_1(p)\left(\sigma_1+\frac{\sigma_2}{p}\right)\right)-\sigma_3 p\Delta\theta_1(p)+\sigma_4\Delta\theta_{c1}(p)$.

En utilisant le schéma-blocs, on a $U_1(p) = \Delta_{c1}(p)A(p)+\left(\Delta_{c1}(p)-\Delta\theta_1(p)\right)B(p)-\Delta\theta_1(p)C(p) = \Delta_{c1}(p)\left(A(p)+B(p)\right)-\Delta\theta_1(p)\left(B(p)+C(p)\right)$.

Par suite, $U_1(p) = \Delta\theta_{c1}(p)\left(\sigma_1+\frac{\sigma_2}{p}+\sigma_4\right) - \Delta\theta_1(p)\left(\sigma_1+\frac{\sigma_2}{p}+\sigma_3 p\right)$.

On aura donc $B(p) = \sigma_1+\frac{\sigma_2}{p}$, $C(p) = \sigma_3 p$ et $A(p)=\sigma_4$.



Question 2 *À partir de ce schéma-blocs, en notant $H_{processus}(p) = \frac{\Delta\theta_1(p)}{U_1(p)} = \frac{K}{p\left(1+\tau p\right)}$, exprimer K et τ en fonction des données de l'énoncé.*

Correction On a $H_{\text{processus}}(p) = \dfrac{D(p)F(p)G(p)}{1+D(p)F(p)G(p)k_e} H(p)$

soit $H_{\text{processus}}(p) = \dfrac{\dfrac{1}{R+Lp}k_t\dfrac{1}{Jp}}{1+\dfrac{1}{R+Lp}k_t\dfrac{1}{Jp}k_e}\dfrac{1}{p}$. Avec $L=0$,

Cycle 01

$H_{\text{processus}}(p) = \dfrac{k_t}{RJp+k_tk_e}\dfrac{1}{p} = \dfrac{\dfrac{1}{k_e}}{\dfrac{RJ}{k_tk_e}p+1}\dfrac{1}{p}$ soit $K=\dfrac{1}{k_e}$ et $\tau=\dfrac{RJ}{k_tk_e}$.

Question 3 *Exprimer la fonction de transfert en boucle fermée, sous sa forme canonique, notée $B_F(p) = \dfrac{\Delta\theta_1(p)}{\Delta\theta_{c1}(p)}$ en fonction de K, τ, σ_1, σ_2, σ_3 et σ_4.*

Correction On a vu que $U_1(p)=\Delta\theta_{c1}(p)\left(\sigma_1+\dfrac{\sigma_2}{p}+\sigma_4\right)-\Delta\theta_1(p)\left(\sigma_1+\dfrac{\sigma_2}{p}+\sigma_3 p\right)$ et que $\dfrac{\Delta\theta_1(p)}{U_1(p)}=\dfrac{K}{p\left(1+\tau p\right)}$.

On a donc $\Delta\theta_1(p)\dfrac{p\left(1+\tau p\right)}{K}=\Delta\theta_{c1}(p)\left(\sigma_1+\dfrac{\sigma_2}{p}+\sigma_4\right)-\Delta\theta_1(p)\left(\sigma_1+\dfrac{\sigma_2}{p}+\sigma_3 p\right)$

$\Leftrightarrow \quad \Delta\theta_1(p)\left(\dfrac{p\left(1+\tau p\right)}{K}+\sigma_1+\dfrac{\sigma_2}{p}+\sigma_3 p\right) = \Delta\theta_{c1}(p)\left(\sigma_1+\dfrac{\sigma_2}{p}+\sigma_4\right)$ et

$$B_F(p) = \dfrac{\sigma_1+\dfrac{\sigma_2}{p}+\sigma_4}{\dfrac{p\left(1+\tau p\right)}{K}+\sigma_1+\dfrac{\sigma_2}{p}+\sigma_3 p} = \dfrac{\sigma_1 p+\sigma_2+\sigma_4 p}{\dfrac{p^2\left(1+\tau p\right)}{K}+\sigma_1 p+\sigma_2+\sigma_3 p^2} = K\dfrac{\sigma_1 p+\sigma_2+\sigma_4 p}{p^2\left(1+\tau p\right)+\sigma_1 K p+\sigma_2 K+\sigma_3 K p^2}$$

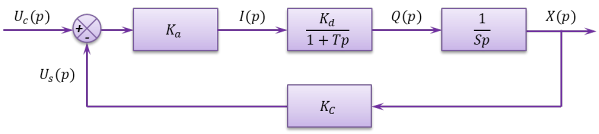
$$= K\dfrac{(\sigma_1+\sigma_4)p+\sigma_2}{\tau p^3+p^2(1+\sigma_3)+\sigma_1 K p+\sigma_2 K}.$$

Exercice 5 – Vérin⋆

B2-07 **Pas de corrigé pour cet exercice.**

Question 1 *Réaliser le schéma-blocs.*

On a :
- $U_c(p) = \dfrac{1}{K_a} I(p) + U_s(p)$
- $Q(p) = SpX(p)$
- $U_S(p) = K_C \cdot X(p)$
- $F(p) = \dfrac{Q(p)}{I(p)} = \dfrac{K_d}{1+Tp}$



Exercice 6 – Tuyère à ouverture variable⋆

B2-07 **Pas de corrigé pour cet exercice.**

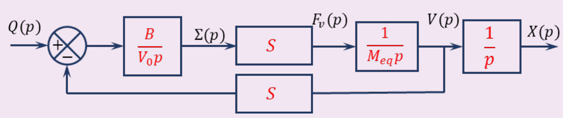
Présentation du système

Objectif On souhaite vérifier que le système permet de respecter le cahier des charges suivant :
- temps de réponse à 5% : 4 s au maximum ;
- précision : l'erreur statique doit être nulle ;
- précision : l'erreur de traînage doit être inférieure à 1 mm pour une consigne de 25 mm s^{-1}.

Modélisation du comportement du vérin – hypothèse fluide compressible

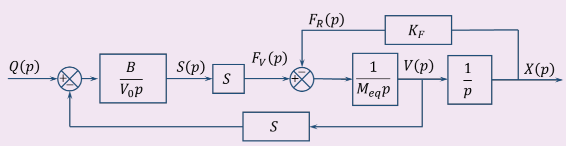
Question 1 *À partir des équations, compléter le schéma-blocs en indiquant les fonctions de transferts de chaque bloc.*

Correction



Question 2 *Modifier le schéma-blocs précédent pour intégrer l'effort résistant.*

Correction



Question 3 *Donner l'expression de la fonction de transfert du vérin $H_V(p) = \dfrac{X(p)}{Q(p)}$. On donnera le résultat sous la forme $H_V(p) = \dfrac{K_V}{p\left(1+a_2p^2\right)}$ en précisant les expression de K_V et a_2.*

Correction

$$H_{BI}(p) = \frac{\frac{1}{M_{éq}p^2}}{1+\frac{K_F}{M_{éq}p^2}} = \frac{1}{K_F + M_{éq}p^2}$$

$$H_v(p) = \frac{\frac{B}{V_0 p} S \frac{1}{K_F + M_{éq}p^2}}{1+\frac{B}{V_0 p} S^2 \frac{1}{K_F + M_{éq}p^2} p} \qquad H_v(p) = \frac{\frac{B}{V_0 p} S \frac{1}{K_F + M_{éq}p^2}}{1+\frac{B}{V_0 p} S^2 \frac{1}{K_F + M_{éq}p^2} p}$$

$$H_v(p) = \frac{\frac{B}{V_0 p} S \frac{1}{K_F + M_{éq}p^2}}{1+\frac{B}{V_0} S^2 \frac{1}{K_F + M_{éq}p^2}} \qquad H_v(p) = \frac{\frac{B}{V_0 p} S \frac{1}{K_F + M_{éq}p^2}}{1+\frac{B}{V_0} S^2 \frac{1}{K_F + M_{éq}p^2}}$$

$$H_v(p) = \frac{\frac{BS}{V_0 p}}{K_F + M_{éq}p^2 + \frac{BS^2}{V_0}}$$

$$H_v(p) = \frac{\frac{\frac{BS}{V_0}}{K_F + \frac{BS^2}{V_0}}}{p\left(1+\frac{M_{éq}}{K_F+\frac{BS^2}{V_0}}p^2\right)} \qquad Kv = \frac{\frac{BS}{V_0}}{K_F + \frac{BS^2}{V_0}} \qquad a_2 = \frac{M_{éq}}{K_F + \frac{BS^2}{V_0}}$$

Validation du comportement du vérin

Question 4 *Donner l'expression de la forme canonique de la fonction de transfert en boucle fermée $H_{BF}(p) = \dfrac{X(p)}{X_{ref}(p)}$. On donnera le résultat en fonction de K_C, K_U, K_D, K_p, K_V et a_2.*

Correction

$$H_{BF}(p) = \frac{X(p)}{X_{ref}(p)} = \frac{K_c K_p K_u K_D \dfrac{K_V}{p\left(1+a_2p^2\right)}}{1+K_c K_p K_u K_D \dfrac{K_V}{p\left(1+a_2p^2\right)}}$$

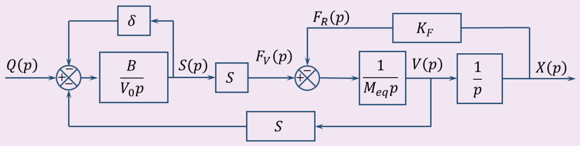
$$H_{BF}(p) = \frac{1}{1+\dfrac{p\left(1+a_2p^2\right)}{K_c K_p K_u K_D K_V}}$$

$$H_{BF}(p) = \frac{1}{1+\dfrac{p}{K_c K_p K_u K_D K_V} + \dfrac{a_2}{K_c K_p K_u K_D K_V}p^3}$$

Prise en compte du débit de fuite

Question 5 *Modifier le schéma-blocs précédent pour intégrer le débit de fuite.*

Correction



Question 6 *Donner l'expression de la fonction de transfert du vérin $H_V(p)=\dfrac{X(p)}{Q(p)}$. On donnera le résultat sous la forme $H_V(p)=\dfrac{K_V}{p\left(1+a_1p+a_2p^2+a_3p^3\right)}$ en précisant les expression de K_V, a_1, a_2 et a_3.*

Correction

$$H_{B1}(p)=\frac{\dfrac{B}{V_0p}}{1+\dfrac{\delta B}{V_0p}}=\frac{\dfrac{1}{\delta}}{1+\dfrac{V_0}{\delta B}p}$$

$$H_v(p)=\frac{\dfrac{B}{\delta B+V_0p}S\dfrac{1}{K_F+M_{éq}p^2}}{1+\dfrac{B}{\delta B+V_0p}S^2\dfrac{1}{K_F+M_{éq}p^2}p}$$

$$H_v(p)=\frac{BS}{(\delta B+V_0p)(K_F+M_{éq}p^2)+BS^2p}$$

$$H_v(p)=\frac{BS}{\delta BK_F+K_FV_0p+\delta BM_{éq}p^2+V_0M_{éq}p^3+BS^2p}$$

$$H_v(p)=\frac{\dfrac{S}{\delta K_F}}{1+\dfrac{K_FV_0+BS^2}{\delta BK_F}p+\dfrac{M_{éq}}{K_F}p^2+\dfrac{V_0M_{éq}}{\delta BK_F}p^3}$$

$$K_v=\frac{S}{\delta K_F}$$

$$a_1=\frac{K_FV_0+BS^2}{\delta BK_F}$$

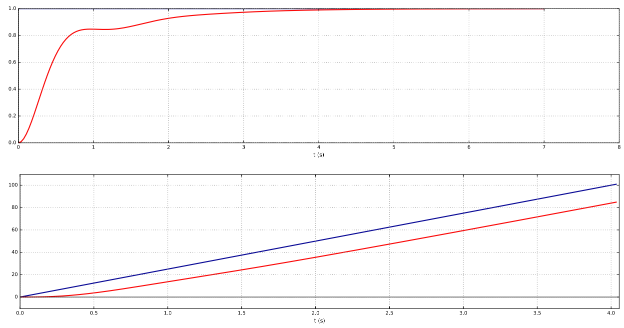
$$a_2=\frac{M_{éq}}{K_F}$$

$$a_3=\frac{V_0M_{éq}}{\delta BK_F}$$

Retour sur le cahier des charges

On donne la réponse à un échelon et à une rampe de pente $25\,\mathrm{mm\,s^{-1}}$.

Question 7 *Le cahier des charges est-il vérifié ?*

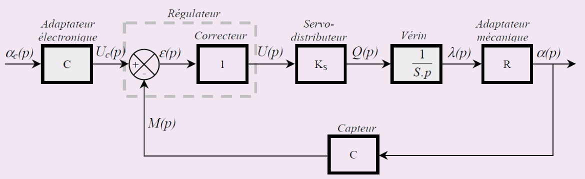


Exercice 7 – Véhicule à trois roues Clever*

B2-07 **Pas de corrigé pour cet exercice.**

Question 1 *Donner l'expression de la fonction de transfert du vérin $H_{V1}(p)$ (telle que $\lambda(p) = H_{V1}(p)Q(p)$) et compléter le schéma-bloc associé à la modélisation actuelle du système.*

Correction



Question 2 *Déterminer la fonction de transfert en boucle fermée $FTBF_1$ (telle que $\alpha(p) = FTBF_1(p)\alpha_c(p)$) du système bouclé. Mettre $FTBF_1(p)$ sous la forme $\dfrac{K_1}{1+\tau_1 p}$ en précisant les expressions de K_1 et de τ_1.*

Correction

$$FTBF_1(p) = \frac{C\dfrac{K_S.R}{S.p}}{1+C\dfrac{K_S.R}{S.p}} = \frac{C.K_S.R}{S.p+C.K_S.R} = \frac{1}{1+\dfrac{S}{C.K_S.R}.p}$$

Question 3 *À partir du critère de temps de réponse à 5 % ($t_{r5\%}$) du système, déterminer l'expression puis la valeur numérique minimale du gain du servo-distributeur.*

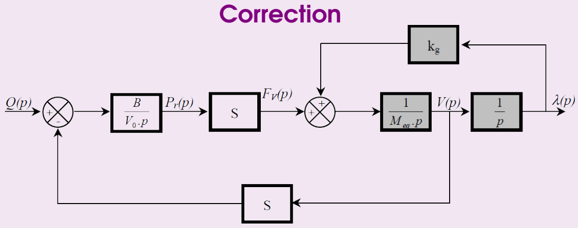
Correction

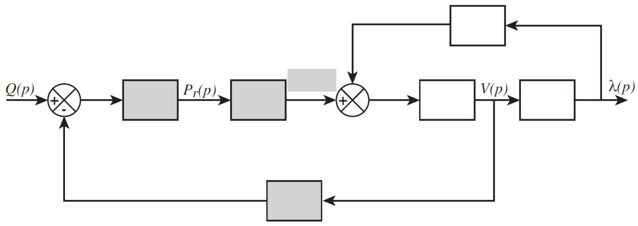
$t_{R5\%} = \dfrac{3.S}{C.K_S.R}$ soit pour avoir $t_{R5\%} \leq 0{,}1\ s = t_0$ il faut que :

$$K_S > \frac{3.S}{C.R.t_0} = \frac{3\times\pi\times 16^2\times 10^{-6}}{1\times\dfrac{\pi}{180}\times 400\times 0{,}1} = 3\times 18\times 4\times 16\times 10^{-6} = 3{,}456.10^{-3}\ m^3s^{-1}V^{-1}$$

Question 4 *Appliquer la transformation de Laplace aux équations précédentes et compléter le schéma-blocs.*

Correction





Question 5 *Donner l'expression de la fonction de transfert en boucle fermée du vérin H_{V2} (telle que $\lambda(p) = H_{V2}Q(p)$) et préciser les expressions des coefficients K_V et ω_V de sa forme canonique : $H_{V2}(p) = \dfrac{K_V}{p\left(1+\dfrac{p^2}{\omega_V^2}\right)}$.*

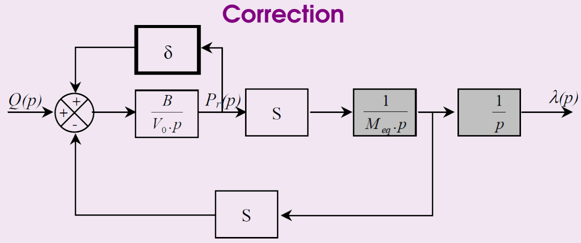
Correction

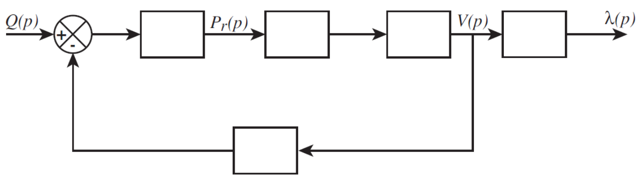
$$H_{V2}(p) = \frac{\dfrac{BS}{V_0.p}\dfrac{\dfrac{1}{M_{eq}.p^2}}{1-k_g.\dfrac{1}{M_{eq}.p^2}}}{1+\dfrac{BS^2}{V_0}\dfrac{1}{M_{eq}.p^2-k_g}} = \frac{BS}{V_0.p.\left(M_{eq}.p^2-k_g\right)+BS^2.p} = \frac{\dfrac{BS}{BS^2-k_g.V_0}}{p.\left(1+\dfrac{V_0.M_{eq}}{BS^2-V_0.k_g}.p^2\right)}$$

$$\boxed{H_{V2}(p) = \frac{\dfrac{BS}{BS^2-k_g.V_0}}{p.\left(1+\dfrac{V_0.M_{eq}}{BS^2-V_0.k_g}.p^2\right)}} \qquad \boxed{K_V = \frac{BS}{BS^2-k_g.V_0}} \qquad \boxed{\omega_V = \left(\frac{BS^2-V_0.k_g}{V_0.M_{eq}}\right)^{\frac{1}{2}}}$$

Question 6 *Proposer une modification du schéma-bloc donné afin de prendre en compte le débit de fuite.*

Correction





Question 7 *Déterminer l'expression de la fonction de transfert H_{V3} (telle que $\lambda(p) = H_{V3}Q(p)$) associée au comportement dynamique du vérin ainsi modélisé. On donnera le résultat sous la forme suivante : $H_{V3}(p) = \dfrac{K_V}{p\left(1+a_1 p+\dfrac{p^2}{\omega_V^2}\right)}$. Donner l'expression de a_1 en fonction de M_{eq}, δ et S et déterminer l'expression du coefficient d'amortissement ξ_V du second ordre en fonction de M_{eq}, δ, S, B et V_0.*

Correction

Cycle 01

$$Q(p) = S\lambda.p + \frac{V_0}{B}p.P_r(p) - \delta.P_r(p)$$

$$H_{V2}(p) = \frac{\dfrac{\dfrac{B}{V_0.p}}{1-\dfrac{B\delta}{V_0.p}}\dfrac{S}{M_{eq}.p}\dfrac{1}{p}}{1+\dfrac{\dfrac{B}{V_0.p}}{1-\dfrac{B\delta}{V_0.p}}\dfrac{S^2}{M_{eq}.p}} = \frac{BS}{(V_0.p-B\delta).M_{eq}.p^2+BS^2.p} = \frac{\dfrac{1}{S}}{p\left(1-\dfrac{\delta.M_{eq}}{S^2}.p+\dfrac{V_0.M_{eq}}{BS^2}.p^2\right)}$$

$$\frac{2\xi_V}{\omega_V} = -\frac{\delta.M_{eq}}{S^2} \text{ et } \omega_V = \left(\frac{BS^2}{V_0.M_{eq}}\right)^{\frac{1}{2}} \text{ soit } \xi_V = -\frac{1}{2}\frac{\delta.M_{eq}}{S^2}\left(\frac{BS^2}{V_0.M_{eq}}\right)^{\frac{1}{2}} = -\frac{1}{2}\delta\left(\frac{BM_{eq}}{V_0.S^2}\right)^{\frac{1}{2}}$$

Question 8 *Quels sont les critères du cahier des charges validés ?*

Correction

- Ecart de traînage = 0 $\Rightarrow$ validé
- Ecart dynamique (dépassement pour entrée en trapèze) = 0,8° $\Rightarrow$ validé
- *Temps de réponse lié à la bande passante et l'amortissement $\Rightarrow$ validé (ne peut pas être lu sur une entrée en trapèze).*