

Devoir maison n°1

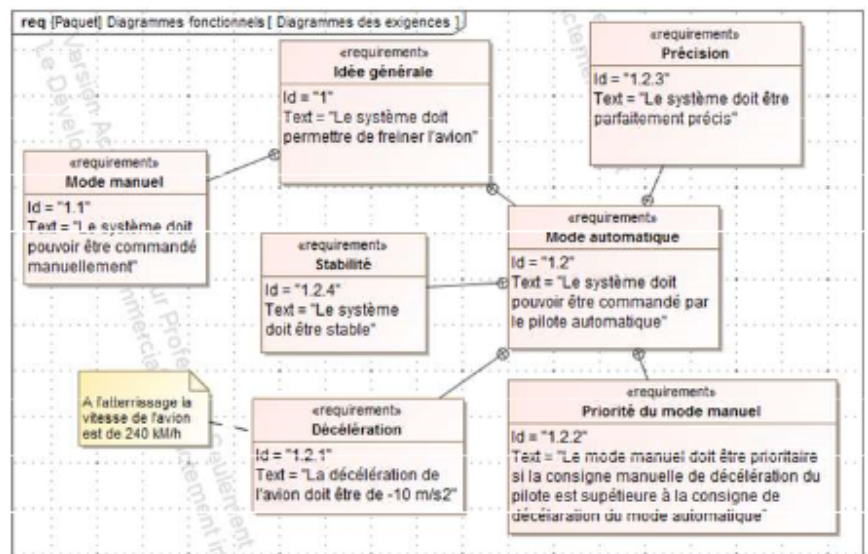
Une copie est à rendre par trinôme de khôlles.

Système de freinage de l'Airbus A318



On s'intéresse au système de freinage des roues d'un Airbus A318 dont on donne une description structurée ainsi qu'un extrait partiel de cahier des charges.

Le freinage est une des fonctions vitales d'un avion, au même titre que la propulsion ou la sustentation. C'est notamment grâce au système de freinage que l'avion peut s'immobiliser après l'atterrissage (le pilote actionne aussi dans ce cas les inverseurs de poussée des moteurs et les aérofreins).



Bien que les variables manipulées dans la partie commande du système soient normalement des variables numériques, on les considérera dans tout le sujet comme étant des variables analogiques et le modèle étudié sera considéré linéaire, continu et invariant.

L'utilisateur donne une consigne de décélération $a_c(t)$ convertie en une image en tension $u_c(t)$ par le transcodeur, $u_c(t)$ est ensuite comparée à la valeur $u_a(t)$ fournie par l'accéléromètre et qui correspond à l'image de la décélération réelle de l'avion $a(t)$. Le calculateur génère à partir de cet écart $\varepsilon(t)$, une commande $i(t)$ pour la servovalve. Celle-ci fournit alors la pression $P_h(t)$ au système de freinage qui entraîne alors la décélération $a(t)$ de l'avion.

On s'intéresse dans toute la suite du sujet uniquement au mode de décélération automatique du mode normal, qui consiste à asservir en décélération le freinage de l'avion.

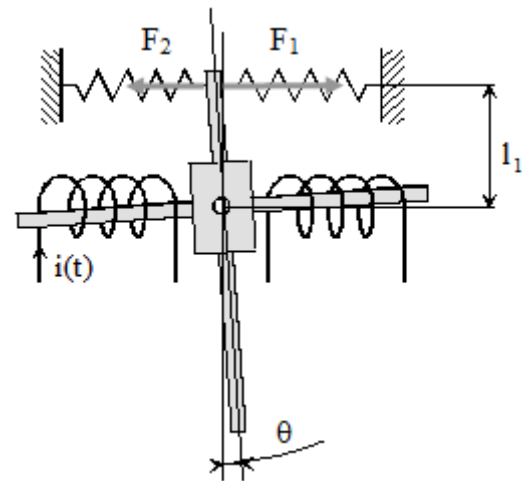
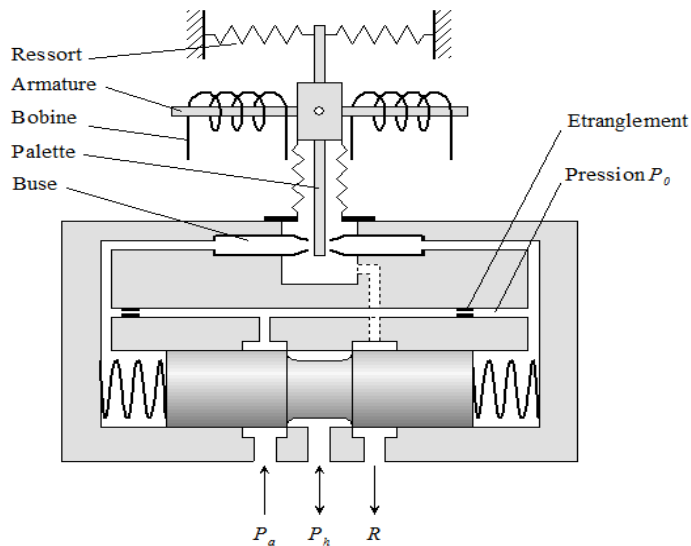
Question 1 : Réaliser un schéma-bloc fonctionnel de l'asservissement en décélération à partir des indications ci-dessus. On prendra $a_c(t)$ comme entrée et $a(t)$ comme sortie.

A. Modélisation de la servovalve

Une servovalve électrohydraulique est un appareil qui convertit une grandeur électrique (courant ou tension) en une grandeur hydraulique proportionnelle (débit ou pression).

La servovalve la plus utilisée est la servovalve en débit ou pression à 2 étages. Elle est constituée de trois éléments :

- un actionneur de type moteur électrique ;
- un amplificateur hydraulique constitué d'un mécanisme buse-palette ;
- un tiroir de distribution.



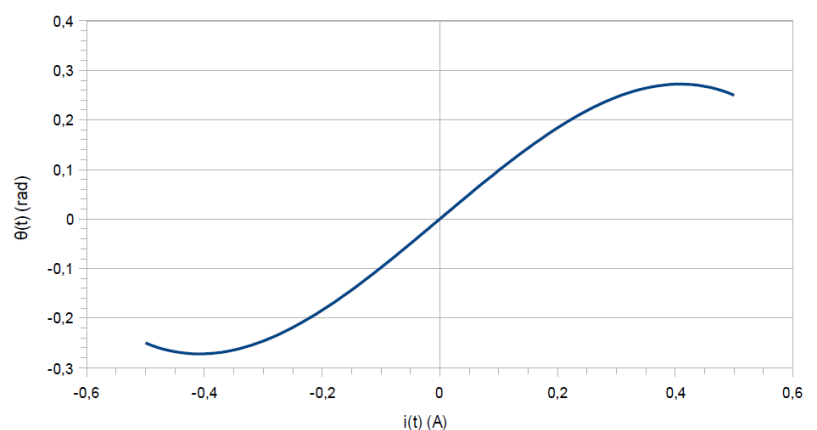
L'armature du moteur à courant continu se prolonge dans l'entrefer d'un circuit magnétique. Le passage d'un courant continu dans les deux bobines situées de part et d'autre de l'armature provoque le basculement de cette dernière d'un angle $\theta(t)$.

L'armature est solidaire d'une palette plongeant dans l'amplificateur hydraulique et dont l'extrémité est située entre deux buses. Le mouvement de rotation de l'ensemble armature-palette vient étrangler le débit fluide traversant l'une ou l'autre des buses. La pression différentielle ainsi créée se répercute aux deux extrémités du tiroir du distributeur et provoque son déplacement.

Ce tiroir possède trois orifices de contrôle, P_a (Alimentation), P_h (Utilisation), R (Retour à la bêche). La pression P_h est proportionnelle au déplacement du tiroir compté à partir de la position zéro (position du milieu).

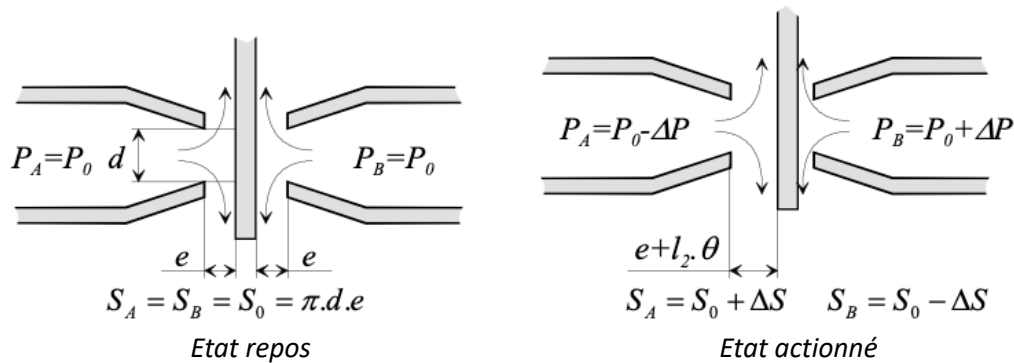
A titre indicatif, le diamètre d des buses est de l'ordre de quelques dixièmes de millimètres et l'écart e entre la buse et la palette de l'ordre de quelques centièmes de millimètres.

On donne ci-contre la caractéristique reliant l'intensité $i(t)$ du moteur à l'angle $\theta(t)$ dont bascule l'armature.



Question 2 : Que peut-on dire de cette caractéristique sur tout le domaine de variation de $i(t)$? Sachant que θ est très petit (varie autour de 0), on utilise la relation suivante $\theta(t) = K_1 i(t)$. Déterminer la valeur de K_1 à partir de la courbe.

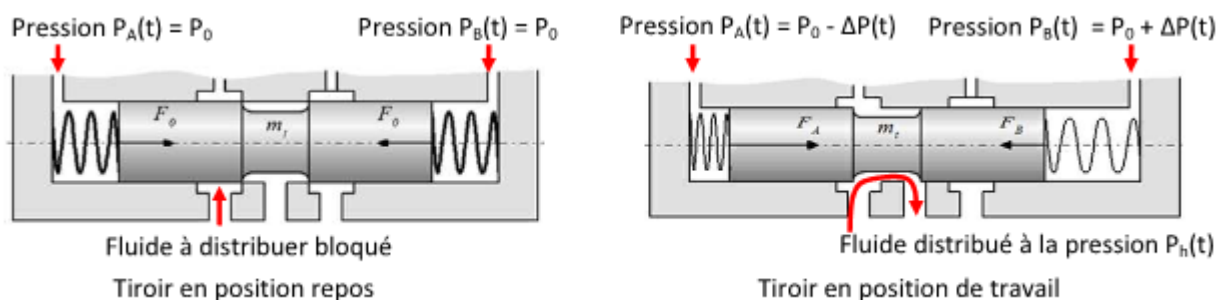
On admet que, pour le système buse-palette, la rotation d'angle θ de la palette se traduit par un accroissement ou diminution de la distance buse-palette. Les sections de fuite sont alors augmentées ou diminuées, ce qui entraîne une augmentation ou diminution des pressions P_A et P_B proportionnelle à ΔS



On peut alors définir les relations suivantes :

$$\Delta S(t) = K_2 \cdot \theta(t) \text{ et } \Delta P(t) = K_3 \cdot \Delta S(t)$$

L'existence de cette pression différentielle générée par l'amplificateur hydraulique permet au final de mettre en mouvement le tiroir de distribution de la servovalve :



On utilise les notations suivantes :

- m_t : masse du tiroir ;
- S_t : section du tiroir à ses extrémités ;
- F_A et F_B : efforts exercés par les deux ressorts de coefficient de raideur k_t montés de part et d'autre du tiroir du distributeur ;
- c_t : coefficient de frottement visqueux entre tiroir et cylindre.

Le principe fondamental de la dynamique appliqué au tiroir donne la relation suivante :

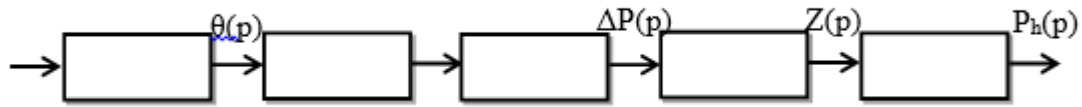
$$m_t \frac{d^2 z(t)}{dt^2} = -2k_t z(t) + 2S_t \Delta P(t) - c_t \frac{dz(t)}{dt}$$

Question 3 : Calculer, en précisant l'hypothèse nécessaire, la fonction de transfert $H_t(p) = \frac{Z(p)}{\Delta P(p)}$ où $Z(p)$ et $\Delta P(p)$ sont les transformées de Laplace de $z(t)$ et $\Delta P(t)$.

Question 4 : Mettre cette fonction de transfert sous forme canonique et donner son ordre.

On admet pour finir que la pression d'utilisation $P_h(t)$ du fluide est proportionnelle au déplacement $z(t)$ du tiroir : $P_h(t) = K_4 \cdot z(t)$

Question 5 : A partir de toutes les informations précédentes (modélisation armature, buse/palette, tiroir...), recopier et compléter le schéma bloc suivant, en précisant les fonctions de transfert de chaque bloc (utiliser les notations algébriques).



Question 6 : En déduire la fonction de transfert $S_v(p) = \frac{P_h(p)}{I(p)}$ de la servovalve.

Question 7 : Montrer qu'elle peut se mettre sous la forme d'un système du second ordre :

$$S_v(p) = \frac{P_h(p)}{I(p)} = \frac{K_{sv}}{1 + 2 \cdot \frac{\xi}{\omega_0} \cdot p + \frac{p^2}{\omega_0^2}}$$

Où on donnera les expressions littérales de K_{sv} , ξ et ω_0

On souhaite que la réponse à une entrée $i(t)$ de type échelon de valeur i_0 soit la plus rapide possible **sans toutefois produire de dépassement**.

Question 8 : A quelle valeur de ξ correspond cette spécification ?

Question 9 : Démontrer que cette condition ne peut être satisfaite que si $k_t = \frac{c_t^2}{8 \cdot m_t}$

Question 10 : Montrer alors que la fonction de transfert de la servovalve peut se mettre sous la forme $S_v(p) = \frac{P_h(p)}{I(p)} = \frac{K_{sv}}{(1 + T_{sv} \cdot p)^2}$, puis donner l'expression de T_{sv} .

Question 11 : Déterminer la réponse indicielle $P_h(t)$ pour une entrée échelon de valeur $i(t) = i_0 \cdot u(t)$

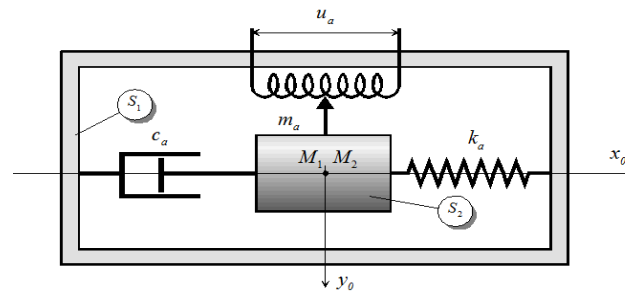
B. Modélisation de l'accéléromètre

La centrale inertielle contient des accéléromètres qui permettent de mesurer les accélérations suivant les trois directions x_a , y_a , z_a d'un repère lié à l'avion.

L'accéléromètre renvoie au BSCU un signal électrique $u_a(t)$ image de l'accélération $a(t)$ suivant la direction x_a . La tension $u_a(t)$ est convertie en grandeur numérique a_m par un convertisseur analogique-numérique et rangée dans la mémoire du BSCU.

Principe de l'accéléromètre : un accéléromètre (voir figure ci-dessous) est constitué de deux solides S_1 et S_2 :

- S_1 , le corps, est lié à l'avion,
- S_2 est lié à S_1 par l'intermédiaire d'un ressort de raideur k_a et d'un frottement visqueux de valeur c_a .



Accéléromètre en position repos

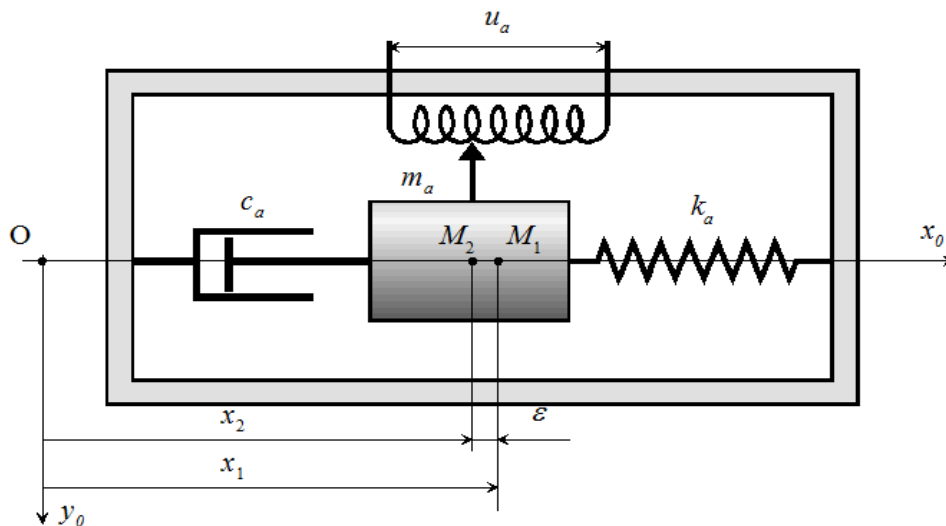
On considère (voir figure ci-dessus) deux points M_1 et M_2 appartenant respectivement à S_1 et S_2 . On note $x_1(t)$ et $x_2(t)$ leurs coordonnées dans un repère (O, X_0, Y_0, Z_0) .

On considère nulles les conditions initiales. En particulier, à l'état repos, M_1 et M_2 sont confondus.

Quand S_1 est animé d'un mouvement de translation suivant x_0 , on note :

$$\varepsilon(t) = x_1(t) - x_2(t) \quad (1)$$

$$a(t) = \frac{d^2 x_1(t)}{dt^2} \quad (\text{Accélération de } S_1) \quad (2)$$



Accéléromètre en action

D'autre part, par application du principe fondamental de la dynamique, on a :

$$m_a \cdot \frac{d^2 x_2(t)}{dt^2} = c_a \cdot \left(\frac{dx_1(t)}{dt} - \frac{dx_2(t)}{dt} \right) + k_a (x_1(t) - x_2(t)) \quad (3) \quad (\text{avec } m_a, c_a \text{ et } k_a \text{ constantes})$$

Le solide S_2 est relié à un potentiomètre qui renvoie une tension u_a proportionnelle au déplacement ε du solide S_2 par rapport à S_1 . On note :

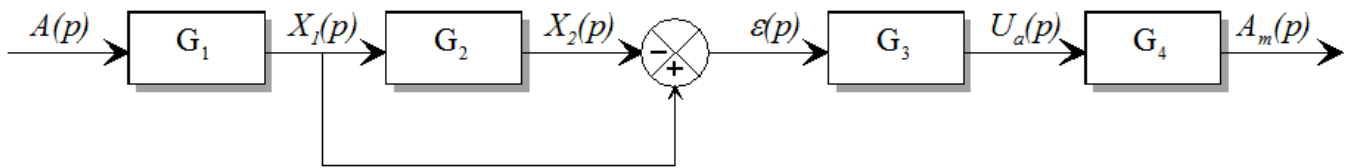
$$u_a(t) = K_p \cdot \varepsilon(t) \quad (4)$$

Finalement, le CAN (convertisseur analogique numérique) fournit la valeur a_m telle que :

$$a_m(t) = K_{CAN} \cdot u_a(t) \quad (5)$$

Question 12 : Déterminer les transformées de Laplace des expressions (1) à (5).

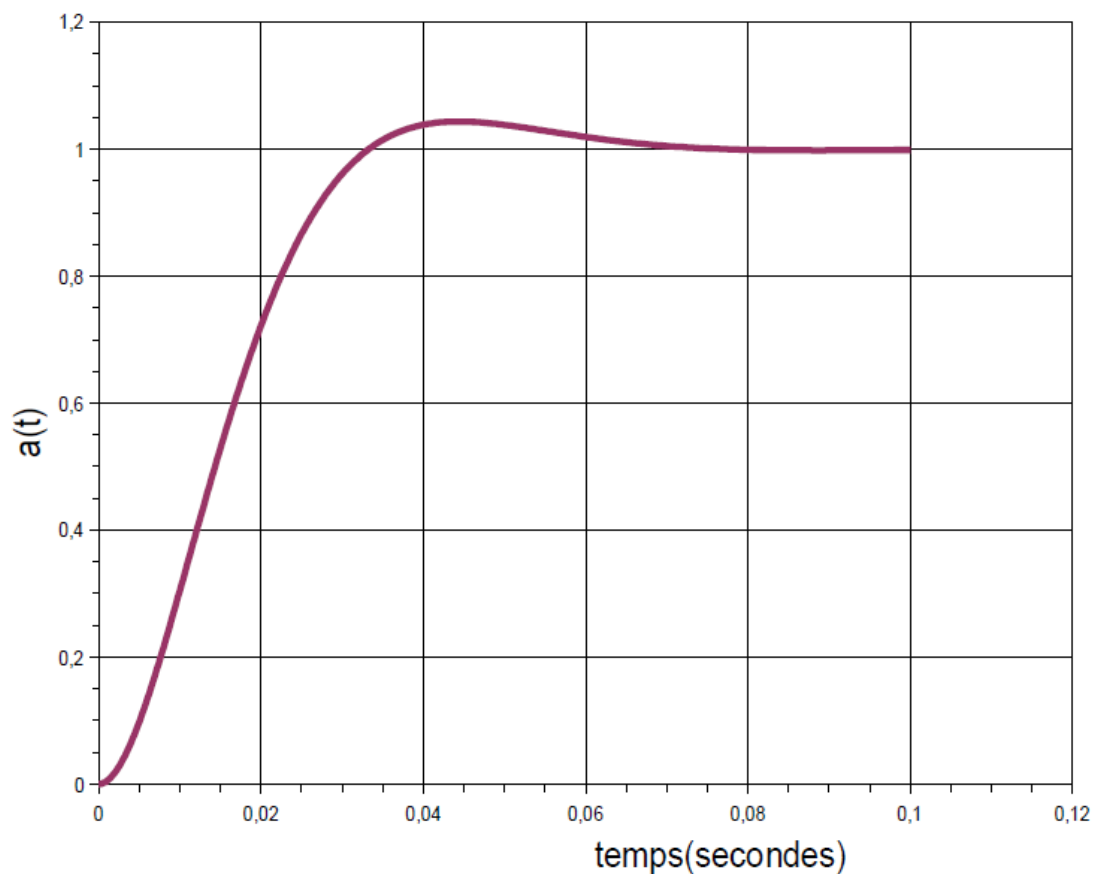
Question 13 : En déduire les transmittances G_i du schéma bloc ci-après.



Question 14 : En déduire la fonction de transfert $\frac{A_m(p)}{A(p)}$ et montrer qu'elle peut se mettre sous la forme $\frac{A_m(p)}{A(p)} = \frac{K_{acc}}{1 + 2\frac{\xi_a}{\omega_a}p + \frac{p^2}{\omega_a^2}}$.

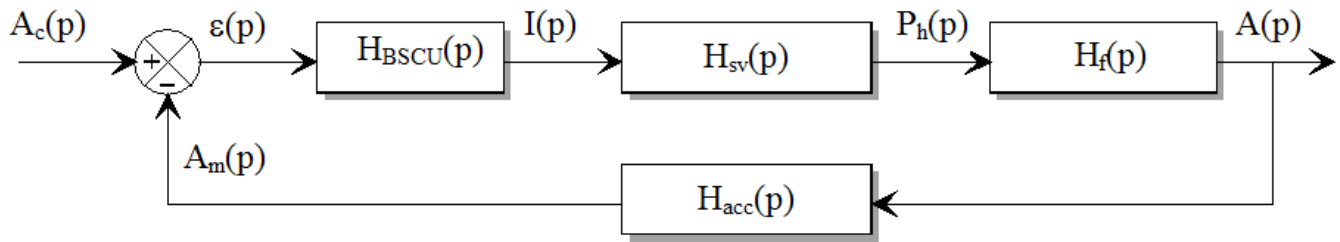
Donner les expressions de K_{acc} , ξ_a et ω_a

Question 15 : La figure ci-dessous donne la réponse indicielle (entrée unitaire) de l'accéléromètre. A l'aide des abaques donnés en annexe, identifier les valeurs des constantes K_{acc} , ξ_a et ω_a .



C. Etude de l'asservissement global

La boucle d'asservissement en décélération est donnée ci-après :



Avec :

$$H_{sv}(p) = \frac{K_{sv}}{(1+T_{sv}p)^2}$$

$$H_{acc}(p) = \frac{K_{acc}}{1+2\frac{\xi_a}{\omega_a}p+\frac{p^2}{\omega_a^2}}$$

$$H_f(p) = K_f$$

$$H_{BSCU} = K_c$$

Question 16 : Exprimer sous forme canonique la fonction de transfert en boucle ouverte. En déduire l'ordre, la classe et le gain de la FTBO(p).

Question 17 : Exprimer l'écart $\varepsilon(p)$ en fonction de $a_c(p)$ et de la FTBO(p)

Question 18 : En déduire l'écart en régime permanent à une entrée de type échelon d'accélération $a_c(t) = a_c \cdot u(t)$. Que peut-on dire de la performance de précision pour ce correcteur ?

Documents annexes