

## Problème

On considère le système de commande en roulis (inclinaison latérale) d'un avion représenté sur la figure ci-dessous (Figure 1) :

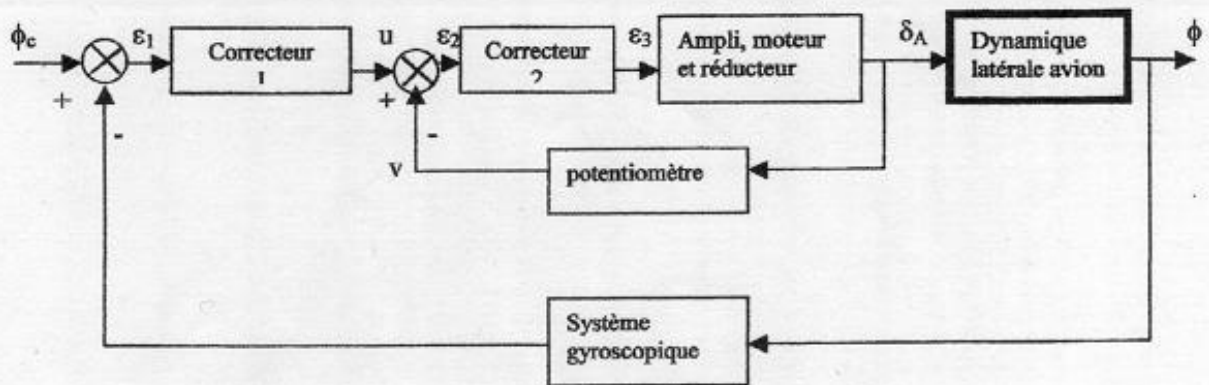


Figure 1 : Schéma blocs du système étudié

### Définition des variables :

$\phi$  est l'angle d'inclinaison latérale de l'avion,  $\phi_c$  est sa valeur de consigne,  $u$  est l'ordre de braquage angulaire des ailerons,  $\epsilon_1$ ,  $\epsilon_2$  et  $\epsilon_3$  sont des signaux d'écart,  $\delta_A$  est le braquage angulaire effectif des ailerons,  $v$  est la sortie du potentiomètre.

### Hypothèses :

- Le capteur gyroscopique est supposé parfait et sa fonction de transfert est prise égale à 1.
- Le potentiomètre est supposé linéaire de gain  $G$  sur sa plage de fonctionnement. La tension  $v$  varie entre  $10V$  et  $+10V$  pour  $\delta_A$  compris entre  $-0,5$  radians et  $+0,5$  radians.
- La fonction de transfert de l'ensemble amplificateur-moteur-réducteur est de la forme :

$$\delta_A(p) / \epsilon_3(p) = K_m / (p(1 + \tau_m p))$$

où  $K_m$  et  $\tau_m$  sont des constantes positives.

- La fonction de transfert reliant le braquage des ailerons à l'inclinaison latérale de l'avion est donnée par:

$$\phi(p) / \delta_A(p) = 75 / (p(1 + 0,25 p))$$

### Question 1 :

On souhaite que la fonction de transfert de la boucle interne de la figure ci-dessus entre  $u$  et  $v$  ait une dynamique du deuxième ordre de pulsation propre  $\omega_0 = 400$  rad/s et de coefficient d'amortissement  $z_0 = 0,45$ .

- a) Calculer  $G$ .
- b) Donner l'expression de la fonction de transfert  $v(p)/u(p)$  en supposant que le correcteur 2 a une fonction de transfert  $C_2(p)$  égale à 1.

$$\text{rad}^2/\Delta/V.$$

- c) Calculer alors les valeurs que devraient avoir les constantes  $K_m$  et  $\tau_m$  pour obtenir la dynamique souhaitée ( $\omega_0$  et  $z_0$ ) pour la boucle interne.
- d) En fait, on a  $K_m = 33 \text{ rad/s/V}$  et  $\tau_m = 0,0075 \text{ s}$ . Déterminer alors la fonction de transfert  $C_2(p)$  du correcteur 2 de façon à ce que la fonction de transfert de la boucle interne ait les caractéristiques  $\omega_0$  et  $z_0$  souhaitées.
- e) De quel type de correcteur s'agit-il ?

### Question 2 :

- a) Donner l'expression de la fonction de transfert  $\delta_\Delta(p)/u(p)$  obtenue en adoptant le correcteur  $C_2(p)$  déterminé à la question I-d.
- b) Esquisser les tracés des réponses fréquentielles dans le plan de Bode et dans le plan de Black associées à celle-ci.
- c) Déterminer la bande passante et la marge de phase du système de commande du braquage des ailerons ainsi corrigé.
- d) Donner la valeur de l'erreur en position  $e_p$  et de l'erreur en vitesse  $e_v$  résultantes.

### Question 3 :

Dans ce qui suit, on suppose que la bande passante de la boucle principale (commande de l'inclinaison latérale de l'avion) est très petite par rapport à celle de la boucle interne (commande du braquage des ailerons).

- a) Montrer que la fonction de transfert du système de commande,  $\delta_\Delta(p)/u(p)$ , peut être approximée par  $1/G$ .
- b) Adoptant cette simplification, donner alors l'expression de la fonction de transfert en boucle ouverte entre  $u$  et  $\phi$ .
- c) Esquisser les tracés des réponses fréquentielles dans le plan de Bode et dans le plan de Black associées à celle-ci.
- d) Estimer la marge de phase et la bande passante correspondantes.
- e) Prenant comme fonction de transfert pour le correcteur 1,  $C_1(p) = 1$ , indiquer les caractéristiques du système en boucle fermée reliant  $\phi_0$  à  $\phi$  : Dépassement relatif,  $D$ , en pourcentage et temps de réponse  $T_r$ , à 95%, en secondes.

### Question 4 :

- a) Déterminer  $C_1(p)$  de façon à avoir pour le système de commande de l'inclinaison latérale de l'avion une bande passante de  $20 \text{ rad/s}$  et une marge de phase de  $45^\circ$ .
- b) De quel type de réseau correcteur s'agit-il ?
- c) Donner l'ordre de grandeur du dépassement relatif,  $D$ , en pourcentage et du temps de réponse  $T_r$ , à 95%, en secondes, ainsi obtenus.
- On remplace le correcteur 1 par un amplificateur de gain  $K$  associé à un retour tachymétrique de gain  $\lambda$ , tels que l'on ait :  $u = K \varepsilon_1 + \lambda d\phi/dt$ .
- d) Donner un schéma blocs correspondant à ce montage pour le système de commande de l'inclinaison latérale de l'avion.
- e) Déterminer  $K$  et  $\lambda$  de façon à obtenir les mêmes performances que en 4-a.