

ÉTUDE SUR LA VITESSE CRITIQUE DE L'ANNULATION DE LA PORTANCE DE L'EMPENNAGE HORIZONTAL DES AÉRONEFS EN CONFIGURATION CANARD

Octavian PREOTU

*Faculté d'Électrotechnique, Université de Craiova, Bd. Decebal nr 107, Roumanie
opreotu@elth.ucv.ro*

Résumé – Cet ouvrage est une étude sur la vitesse critique de l'annulation de la portance de l'empennage horizontal de l'aéronef en configuration canard. On prend compte de l'effet cumulé des déformations élastiques du fuselage, l'effet des rafales verticales ascendantes ou descendantes (w) et du braquage de la profondeur (β).

Mots clés : vitesse critique de l'annulation de la portance, l'effet des rafales verticales, l'effet des déformations élastiques du fuselage, l'effet du braquage de la profondeur

1. GÉNÉRALITÉ

L'avantage de l'empennage horizontal d'avion avec configuration canard est la production normalement d'une portance positive (vers le haut) qui s'ajoute à celle produite par les ailes alors qu'un empennage classique d'avion produit une portance vers le bas, annulant une partie de celle produite par l'aile principale. Principal inconvénient est la situation des ailes qui se trouvent à l'arrière des surfaces canard ce qui réduit leur efficacité. En comparaison avec de la littérature de spécialité pour l'avion en configuration classique [1,2,3] nous considérons le cas d'avion avec configuration canard pour la solution du problème l'effet des rafales verticales ascendantes ou descendantes (w). L'importance de ce problème résulte en première fois à cause de l'existence des aéronefs en configuration canard avec de petites vitesses (des avionnettes de tourisme) et en conséquence, avec des grandes surfaces portantes qui sont mises en danger des rafales verticales.

Ces études sur les aéronefs à grands vitesse à la configuration canard sont aujourd'hui en phase de début. Dans cet ouvrage sont analysées pour la première fois les effets cumulés des déformations élastiques du fuselage, des rafales verticales ascendantes ou descendantes (w) et du braquage de la profondeur (β). Sont examinés les vitesses critiques d'annulation de la portance pour les deux types de rafales verticales.

2. DÉTERMINATION DE LA VITESSE CRITIQUE EN RAFALE

On va considérer un avion en la configuration canard, avec un fuselage qui est élastique déformable, qui entre une zone dont l'atmosphère est perturbée par des rafales verticales comme dans fig 1 :

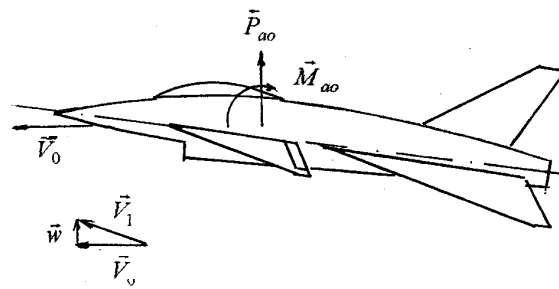


Fig. 1

Avec les notations connues, l'angle de rotation est [1,2] :

$$\varphi = \frac{P_{ao}}{K_1} + \frac{M_{ao}}{K_2} \quad (1)$$

L'incidence de l'avion se modifie à cause de la rafale avec l'angle [1,2] :

$$\pm \Delta\alpha = \frac{w}{V_0} \quad (2)$$

Ou V_0 est la vitesse du vol horizontal, et w est la vitesse du rafale. On prend le signe „+“ pour les rafales ascendantes et le signe „-“ pour les rafales descendantes.

L'expression de la portance de l'empennage horizontal de l'aéronefs, en considérant l'angle de rotation φ de l'empennage, à cause de la déformation élastique du fuselage et de la braquage β , en présence de la rafale, est[1,2]:

$$P_{ao} = qS_{ao} \left[\frac{dC_{zao}}{d\alpha} (\varphi \pm \Delta\alpha) + \frac{dC_{zao}}{d\beta} \beta \right] \quad (3)$$

Le moment aérodynamique de l'empennage a l'expression connue :

$$M_{ao} = qS_{ao}c_{ao} \frac{dC_{mao}}{d\beta} \beta \quad (4)$$

Pour tous les calculs suivants $\frac{dC_{mao}}{d\beta} < 0$, comme d'habitude en littérature de spécialité. La déformation du fuselage à cause de la portance P_{ao} et du moment aérodynamique M_{ao} est écrite sur la forme étendue :

$$\varphi = \frac{qS_{ao}}{K_1} \frac{dC_{zao}}{d\alpha} \varphi \pm \frac{qS_{ao}}{K_1} \frac{dC_{zao}}{d\alpha} \Delta\alpha + \frac{qS_{ao}}{K_1} \frac{dC_{zao}}{d\beta} \times \beta + \frac{qS_{ao}c_{ao}}{K_2} \frac{dC_{mao}}{d\beta} \beta \quad (5)$$

$$\text{Donc: } \varphi = \frac{qS_{ao} \left(\pm \frac{1}{K_1} \frac{dC_{zao}}{d\alpha} \Delta\alpha + \frac{1}{K_1} \frac{dC_{zao}}{d\beta} \beta \right) + \frac{qS_{ao}c_{ao}}{K_2} \frac{dC_{mao}}{d\beta} \beta}{1 - \frac{qS_{ao}}{K_1} \frac{dC_{zao}}{d\alpha}} \quad (6)$$

La portance de l'empennage horizontal est:

$$P_{ao} = qS_{ao} \left\{ \frac{dC_{zao}}{d\alpha} [qS_{ao}(A+B) \pm \Delta\alpha] + C \right\} \quad (7)$$

où:

$$A = \frac{\frac{1}{K_1} \frac{dC_{zao}}{d\alpha} \Delta\alpha}{1 - \frac{qS_{ao}}{K_1} \frac{dC_{zao}}{d\alpha}}, \quad (8)$$

$$B = \frac{\frac{1}{K_1} \frac{dC_{zao}}{d\beta} + \frac{c_{ao}}{K_2} \frac{dC_{mao}}{d\beta}}{1 - \frac{qS_{ao}}{K_1} \frac{dC_{zao}}{d\alpha}} \beta. \quad (9)$$

$$C = \frac{dC_{zao}}{d\alpha} \beta$$

En conséquence :

$$P_{ao} = \frac{qS_{ao}}{1 - \frac{qS_{ao}}{K_1} \frac{dC_{zao}}{d\alpha}} \left(\pm \frac{dC_{zao}}{d\alpha} \Delta\alpha + D\beta \right) \quad (10)$$

où:

$$D = \frac{dC_{zao}}{d\beta} + \frac{qS_{ao}c_{ao}}{K_2} \frac{dC_{zao}}{d\alpha} \frac{dC_{mao}}{d\beta} \quad (11)$$

La portance est annulée quand :

$$\pm \frac{dC_{zao}}{d\alpha} \Delta\alpha + \frac{dC_{zao}}{d\beta} + \frac{qS_{ao}c_{ao}}{K_2} \frac{dC_{zao}}{d\alpha} \times \frac{dC_{mao}}{d\beta} \beta = 0 \quad (12)$$

Ou considérant que la pression dynamique est

$$q = \frac{\rho}{2} (w^2 + V_0^2),$$

nous avons l'expression de la condition de l'annulation de la portance :

$$\frac{\rho}{2} \frac{S_{ao}c_{ao}}{K_2} \frac{dC_{zao}}{d\alpha} \frac{dC_{mao}}{d\beta} \beta w^2 \pm \frac{1}{V_0} \frac{dC_{zao}}{d\alpha} w = - \left(\frac{\rho}{2} \frac{S_{ao}c_{ao}}{K_2} \frac{dC_{zao}}{d\alpha} \frac{dC_{mao}}{d\beta} V_0^2 + \frac{dC_{zao}}{d\beta} \right) \beta \quad (13)$$

On note:

$$g_1(V_0) = - \frac{\rho}{2} \frac{S_{ao}c_{ao}}{K_2} \frac{dC_{zao}}{d\alpha} \frac{dC_{mao}}{d\beta} \beta w^2 \mp \frac{1}{V_0} \frac{dC_{zao}}{d\alpha} w \quad (14)$$

$$g_2(V_0) = \left(\frac{\rho}{2} \frac{S_{ao}c_{ao}}{K_2} \frac{dC_{zao}}{d\alpha} \frac{dC_{mao}}{d\beta} V_0^2 + \frac{dC_{zao}}{d\beta} \right) \beta \quad (15)$$

3. L'EFFET DE LA RAFALE ASCENDANTE

Dans la formule (13) on prend le signe „-“

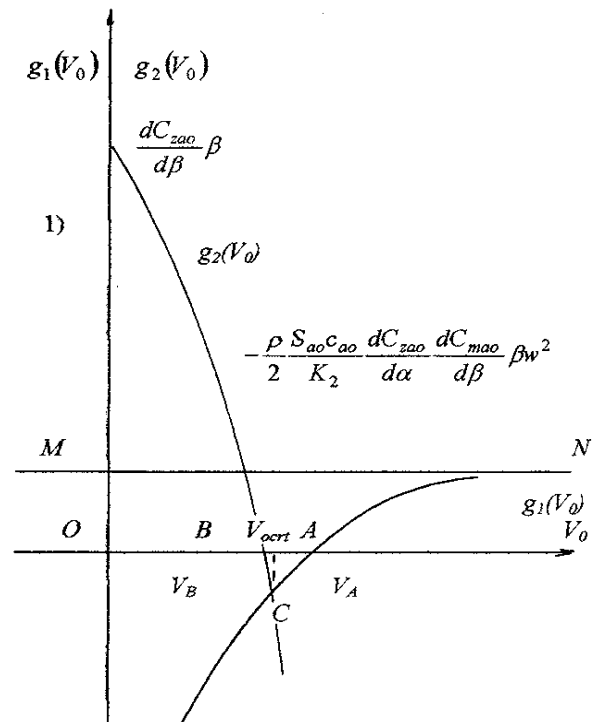


Fig. 2

La figure 2 représente graphiquement les fonctions $g_1(V_0)$ et $g_2(V_0)$ dans le premier cas.

$$V_A = \frac{K_2}{-\frac{\rho}{2} S_{ao} c_{ao} \frac{dC_{mao}}{d\beta} \beta w} \quad (16)$$

$$V_B = \sqrt{\frac{K_2}{-\frac{\rho}{2} S_{ao} c_{ao} \frac{dC_{zao}}{d\alpha} \frac{dC_{mao}}{d\beta}}} \quad (17)$$

La figure 3 représente graphiquement les fonctions $g_1(V_0)$ et $g_2(V_0)$ dans le deuxième cas.

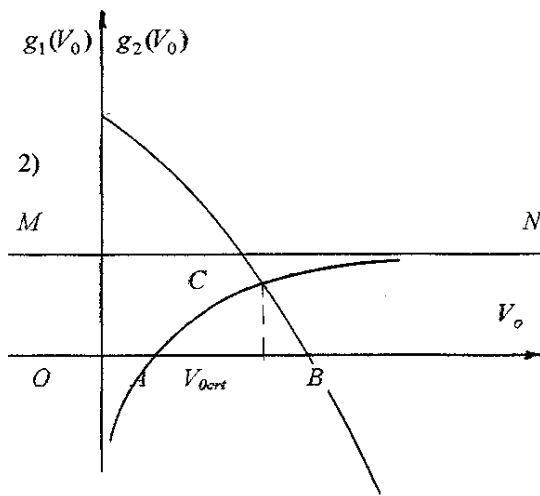


Fig. 3

Observations :

- La vitesse critique de l'annulation de la portance est diminuée avec l'augmentation du vitesse de rafale ascendante
- La vitesse critique de l'annulation de la portance est diminuée avec l'augmentation de l'angle de braquage de la profondeur.
- N'importe si $g_1(V_0)$ s'annule avant de $g_2(V_0)$, les deux conclusions se conservent.
- V_B contient seulement les paramètres constructifs de l'avion, pendant que V_A contient aussi les paramètres de pilotage (braquage β , la vitesse de la rafale w)

3) La situation limite : $V_A = V_B$. Dans ce cas, évidemment, $V_A = V_B = V_{0crt}$.

Donc nous avons :

$$\frac{K_2}{-\frac{\rho}{2} S_{ao} c_{ao} \frac{dC_{mao}}{d\beta} \beta w} = \sqrt{\frac{K_2 \frac{dC_{zao}}{d\beta}}{-\frac{\rho}{2} S_{ao} c_{ao} \frac{dC_{zao}}{d\alpha} \frac{dC_{mao}}{d\beta}}}$$

Donc :

$$\beta w = \sqrt{\frac{K_2 \frac{dC_{zao}}{d\beta}}{-\frac{\rho}{2} S_{ao} c_{ao} \frac{dC_{zao}}{d\alpha} \frac{dC_{mao}}{d\beta}}} \quad (18)$$

La formule (18) donne l'effet concentré du braquage β et de la rafale w pour un fuselage élastique.

4. L'EFFET DE LA RAFALE DESCENDANTE

Dans la formule (13) on prend le signe "+". En cette situation sont aussi trois cas. La figure 4 représente graphiquement les fonctions $g_1(V_0)$ et $g_2(V_0)$ dans le cas des courbes sécantes.

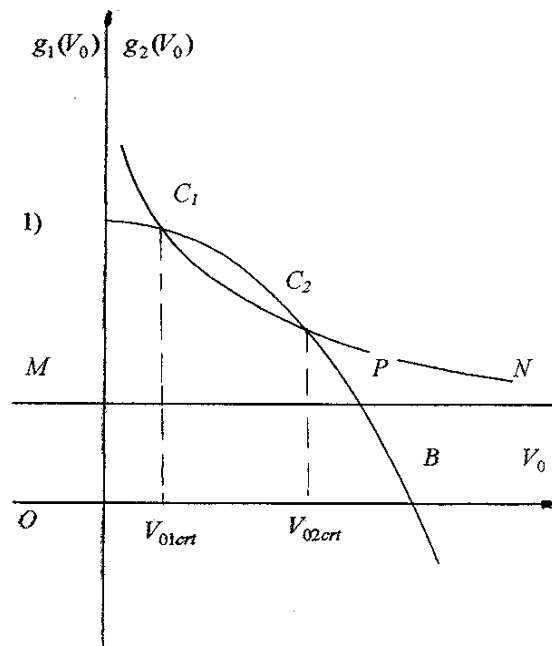


Fig. 4

Dans ce cas on a deux vitesses critiques de l'annulation de la portance sur l'empennage horizontal, V_{01crt} et V_{02crt} .

L'intersection de la parabole $g_2(V_0)$ avec l'axe OV_0 dirige à la valeur de

$$V_B = \sqrt{\frac{K_2 \frac{dC_{zao}}{d\beta}}{-\frac{\rho}{2} S_{ao} c_{ao} \frac{dC_{zao}}{d\alpha} \frac{dC_{mao}}{d\beta}}} \quad (19)$$

La position limite du pont C_2 correspondant à la vitesse critique V_P de l'annulation de la portance est le point P d'intersection de l'asymptote $M-N$ avec la parabole $g_2(V_0)$.

L'intersection de l'asymptote $M-N$ avec la parabole $g_2(V_0)$ dirige à l'équation suivante :

$$\begin{aligned} -\frac{\rho}{2} \frac{S_{ao} c_{ao}}{K_2} \frac{dC_{zao}}{d\alpha} \frac{dC_{mao}}{d\beta} \beta w^2 = \\ = \left(\frac{\rho}{2} \frac{S_{ao} c_{ao}}{K_2} \frac{dC_{zao}}{d\alpha} \frac{dC_{mao}}{d\beta} V_0^2 + \frac{dC_{zao}}{d\beta} \right) \beta \end{aligned} \quad (20)$$

D'ici on obtient la vitesse limite

$$V_{oP} = \sqrt{-\left(w^2 + \frac{K_2 \frac{dC_{zao}}{d\beta}}{\frac{\rho}{2} S_{ao} c_{ao} \frac{dC_{zao}}{d\alpha} \frac{dC_{mao}}{d\beta}} \right)} \quad (21)$$

Au dessus de cette vitesse on n'a plus le péril de l'annulation de la portance de l'empennage horizontal

2) Le cas où les courbes $g_1 = g_1(V_0)$ et $g_2 = g_2(V_0)$ sont tangentes.

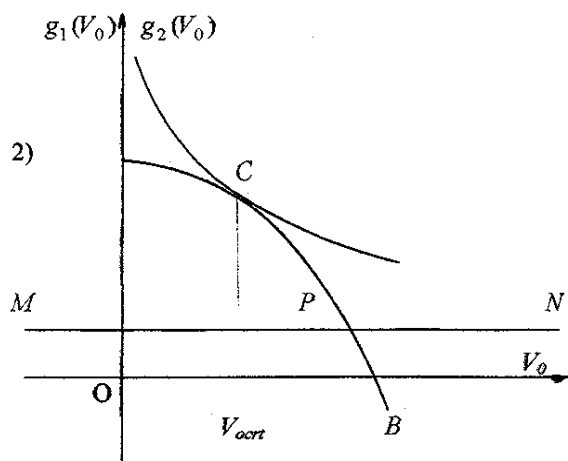


Fig. 5

Dans le point C les deux courbes ont la même tangente comme la figure 5.

On obtient que $g_1'(V_0) = g_2'(V_0)$.

Par ici :

$$-\frac{dC_{zao}}{d\alpha} w \frac{1}{V_0^2} = \rho \frac{S_{ao} c_{ao}}{K_2} \frac{dC_{mao}}{d\beta} V_0 \beta \quad (22)$$

En conclusion :

$$V_{0crt} = \sqrt[3]{-\frac{K_2 w}{\rho S_{ao} c_{ao} \frac{dC_{mao}}{d\beta} \beta}} \quad (23)$$

Observation : la vitesse critique de l'annulation de la portance s'élève avec la vitesse de la rafale et diminue avec l'angle de braquage.

3) Le cas où les courbes $g_1 = g_1(V_0)$ et $g_2 = g_2(V_0)$ ne se coupent pas.

La figure 6 représente graphiquement les fonctions $g_1(V_0)$ et $g_2(V_0)$ dans ce cas.

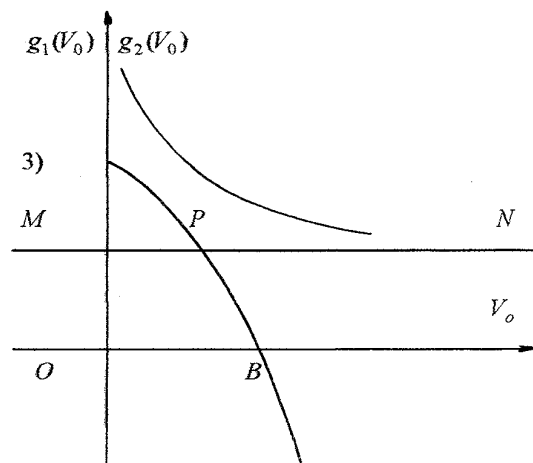


Fig. 6

Dans cette situation on n'a pas une vitesse critique de l'annulation de la portance.

5. CONCLUSIONS

- La vitesse critique de l'annulation de la portance est diminuée avec l'augmentation de la vitesse w de rafale ascendante ou descendante. Par l'exception pour la rafale descendante, le cas 2) la vitesse de la rafale w conduit à une vitesse critique de l'annulation de la portance majoré.
- La vitesse critique de l'annulation de la portance est diminuée avec l'augmentation de l'angle de braquage β de la profondeur.
- V_B contient seulement les paramètres constructifs de l'avion.

Bibliographie

- [1] V., Avadani, *Calculul de rezistenta al avionului*, Editura Militara, Bucuresti, 1980.
- [2] A., Petre, *Teoria aeroelasticitatii-Statica*, Editura Academiei RSR, Bucuresti, 1984.
- [3] O., Preotu, *Studiu asupra vitezei critice de anulare a portantei ampenajului orizontal in prezenta deformatiilor elastice si a rafalelor verticale*, A XXVI-a Sesiune de comunicari stiintifice cu participare internationala, pag. 57-64, Academia Tehnica Militara, 1999.