Lista 6

1. ~ Gravidade a uma altura H

$$g = \frac{\mu}{(R_T + H)^2} \Rightarrow g = 9{,}7711 \ m/s^2$$

~ Densidade a uma altura H

$$\rho = \rho_0 \left[1 + \frac{A_0}{T_0}(H - H_0) \right]^{-\left(1 + \frac{g_0}{A_0 R}\right)} = 0{,}4663 \ Kg/m^3$$

~ Da equação da sustentação

$$mg = \frac{1}{2} \rho S V_e^2 C_{Le}$$

$$C_{Le} = \frac{mg}{\frac{1}{2}\rho S V_e^2} \Rightarrow C_{Le} = 0{,}4835$$

~ Da equação $C_L = C_L(\alpha) = C_{L\alpha} \cdot \alpha$

$$\alpha_0 = \frac{C_{Le}}{C_{L\alpha}} = 0{,}0971 \ rad = 5{,}5609 \ deg$$

~ Da polar de arrasto

$$C_{De} = 0{,}0175 + 0{,}06 \, C_{Le}^2 = 0{,}0315$$

~ Da eq. de arrasto

$$F_e = \frac{1}{2} \rho S V_e^2 C_{D,e} + mg \cdot \gamma_e = 1{,}0613 \cdot 10^5 \ N$$

~ Da eq. do momento

$$C_{m_0} + C_{m_\alpha} \alpha_e + C_{m_\delta} \delta_e = 0$$

$$\delta_e = \frac{-(C_{m_0} + C_{m_\alpha} \alpha_e)}{C_{m_\delta}} = -0{,}10 \ rad = -5{,}72 \ deg$$

(2) $g = 9{,}7864\ m/s$; $\rho = 0{,}8191\ Kg/m^3$

→ Da polar $C_{L_e} = C_{L\alpha}\alpha_e = 0{,}1216$

→ Da eq. de sustentação

$$V_e = \sqrt{\frac{m \cdot g}{\frac{1}{2}\rho S C_{L_e}}} = 720{,}5340\ m/s$$

→ Da polar de arrasto:

$$C_{D_e} = 0{,}015 + 0{,}4\, C_{L_e}^2 = 0{,}0209$$

→ Da eq. de arrasto:

$$F_e = 1{,}6189 \cdot 10^5\ N$$

→ Da eq. do momento

$$\delta_e = -0{,}0208\ rad = -1{,}1938\ deg$$

(3)
$$\begin{bmatrix} \dot{q}_0 \\ \dot{\alpha}_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -m_q & -m_\alpha \\ 1 & -\left(\frac{L_\alpha}{V_e} + \frac{g}{V_e E'}\right) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} q \\ \bar{\alpha} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -m_\delta \\ -\frac{L_\gamma}{V_e} \end{bmatrix} \bar{\delta}_p$$

→ com $\bar{\delta}_p = 0$

$$\begin{bmatrix} \dot{q} \\ \dot{\bar{\alpha}} \end{bmatrix} = A \begin{bmatrix} q \\ \bar{\alpha} \end{bmatrix}$$

i) $\det(A - Is) = 0$

$$s^2 + \left(m_q + \frac{L_\alpha}{V_e} + \frac{g}{V_e E'}\right)s + m_\alpha + m_q\left(\frac{L_\alpha}{V_e} + \frac{g}{V_e E'}\right) = 0$$

ii) $s^2 + 2w_0\xi s + w_0^2 = 0$

→ Frequência própria

$$w_0 = m_\alpha + m_q\left(\frac{L_\alpha}{V_e} + \frac{g}{V_e E'}\right)$$

→ Amortecimento reduzido

$$\xi = \frac{\left(m_q + \frac{L_\alpha}{V_e} + \frac{g}{V_e E'} \right)}{2 w_0}$$

iii) Temos λ é um fator que multiplica todos os comprimentos

→ w_0 é dividido por $\sqrt{\lambda}$ → diminui com o aumento de λ

→ T é multiplicado por $\sqrt{\lambda}$ → aumenta com o aumento de λ

→ ξ é multiplicado por $\sqrt{\lambda}$ → aumenta com o aumento de λ

iv) $$r = \frac{-2 w_0 \xi \pm \sqrt{4 w_0^2 \xi^2 - 4 w_0^2}}{2} = -w_0 \xi \pm w_0 \sqrt{\xi^2 - 1}$$

→ Se $\xi > 1$ → r são reais → $r_1 \neq r_2$

mov. não oscilatório → s.f.s → $\{e^{r_1 t}, e^{r_2 t}\}$
(sist. fund. soluções)

→ se $\xi = 1$ → $r_1 = r_2$ (reais)

mov. não oscilatório → s.f.s → $\{e^{r_1 t}, t e^{r_1 t}\}$

→ Se $\xi < 1$ → r é complexo

$r = -w_0 \xi \pm i w_0 \sqrt{1 - \xi^2} = a \pm bi$ (Versyado!)

mov. oscilatório amortecido → s.f.s → $\{e^{at} \cos bt, e^{at} \operatorname{sen} bt\}$

$$\begin{bmatrix} q(t) \\ \alpha(t) \end{bmatrix} = e^{-w_0 \xi t} \left[\begin{pmatrix} A_q \\ A_\alpha \end{pmatrix} \operatorname{sen}\left(w_0 \sqrt{1-\xi^2}\right) t + \begin{pmatrix} B_q \\ B_\alpha \end{pmatrix} \cos\left(w_0 \sqrt{1-\xi^2}\right) t \right]$$

→ Sendo $w = w_0 \sqrt{1 - \xi^2}$ frequência amortecida

$T = \frac{2\pi}{w} = \frac{2\pi}{w_0 \sqrt{1 - \xi}}$ período

4) i) $q = e^{-w_0 \xi t}\left(A_q \operatorname{sen}\left(w_0 \sqrt{1-\xi^2}\right)t + B_q \cos w_0 \sqrt{1-\xi^2}\, t\right)$

$\alpha = e^{-w_0 \xi t}\left(A_\alpha \operatorname{sen} w_0 \sqrt{1-\xi^2} \cdot t + B_\alpha \cos w_0 \sqrt{1-\xi^2}\, t\right)$

$\dot{q} = -w_0 \xi e^{-w_0 \xi t}\left(A_q \operatorname{sen} w_0 \sqrt{1-\xi^2}\, t + B_q \cos w_0 \sqrt{1-\xi^2}\, t\right) + e^{-w_0 \xi t}\left(A_q w_0 \sqrt{1-\xi^2} \cos w_0 \sqrt{1-\xi^2}\, t - B_q w_0 \sqrt{1-\xi^2}\right.$

$\left. \cdot \operatorname{sen} w_0 \left(\sqrt{1-\xi^2}\, t\right)\right)$

$\dot{\alpha} = -w_0 \xi^{-w_0 \xi t}\left(A_\alpha + \ldots B_\alpha \ldots\right) + e^{-w_0 \xi t}\left(A_\alpha - B_\alpha\right)$

→ usando os dados

$\xi = 0{,}2786$

$w_0 = 3{,}0954$ rad/s

$T = 2{,}113$ s.

→ Temos

$$A = \begin{bmatrix} -0{,}7293 & -8{,}8558 \\ 1 & -0{,}9955 \end{bmatrix}$$

→ Cond. iniciais

$\tilde{\alpha}_0 = 1^\circ$ e $q_0 = 0^\circ/s$

$$\begin{bmatrix} \dot{q}_0 \\ \dot{\alpha}_0 \end{bmatrix} = A \begin{bmatrix} q_0 \\ \alpha_0 \end{bmatrix}$$

→ Logo:

$q_0 = B_q = 0^\circ/s$

$\alpha_0 = B_\alpha = 1^\circ$

$\dot{q}_0 = -B_q w_0 \xi + A_q w_0 \sqrt{1-\xi^2}$

$$A_q = \frac{\dot{q}_0 + B_q w_0 \xi}{w_0 \sqrt{1-\xi^2}}$$

$$A_\alpha = \frac{\dot{\alpha}_0 + w_0 \xi B_\alpha}{w_0 \sqrt{1-\xi^2}} = 0{,}07990^\circ$$

Logo $q(t) = e^{-0,8624t} \left(-2,9782 \operatorname{sen} 2,9736t\right)$

$\alpha(t) = e^{-0,8624t} \left(0,07990 \operatorname{sen} 2,9736t + \cos 2,9736t\right)$

5 i) Mirage III

~ Entrada degrau $\bar{\delta}_p(s) = \frac{1}{s}\left[1 - e^{-st_0}\right]$

~ eq. do movimento de curto período

$$\dot{q} = -m_q \cdot q - m_\alpha \cdot \bar{\alpha} - m_\delta \bar{\delta}_p$$

$$\dot{\bar{\alpha}} = q - \left(\frac{L_\alpha}{V_e} + \frac{g}{V_e E'}\right)\bar{\alpha} - \frac{L_\delta}{V_e}\bar{\delta}_p$$

~ Usando a transformada de laplace para $\bar{\alpha}(0) = 0 \quad q(0) = 0$

$$\begin{cases} \mathcal{L}(\dot{q}) = -m_q \mathcal{L}(q) - m_\alpha \mathcal{L}(\bar{\alpha}) - m_\delta \mathcal{L}(\bar{\delta}_p) \\ \mathcal{L}(\dot{\bar{\alpha}}) = \mathcal{L}(q) - \left(\frac{L_\alpha}{V_e} + \frac{g}{V_e E'}\right)\mathcal{L}(\bar{\alpha}) - \frac{L_\delta}{V_e}\mathcal{L}(\bar{\delta}_p) \end{cases}$$

$$\begin{cases} (s + m_q)\, q(s) + m_\alpha \bar{\alpha}(s) = -m_\delta \bar{\delta}_p(s) \\ q(s) + \left(\left(\frac{L_\alpha}{V_e} + \frac{g}{V_e E'}\right) + s = -\frac{L_\delta}{V_e}\bar{\delta}_p(s) \end{cases}$$

$$\rightarrow \bar{\alpha}(s) = -\frac{s\frac{L_\delta}{V_e} + m_q \frac{L_\delta}{V_e} + m_\delta}{s^2 + \left(\frac{L_\alpha}{V_e} + \frac{g}{V_e E'} + m_q\right)s + m_q\left(\frac{L_\alpha}{V_e} + \frac{g}{V_e E'}\right) + m_\alpha}\,\bar{\delta}_p(s)$$

$$\bar{\alpha}(s) = G_{\alpha\delta}\,\bar{\delta}_p(s)$$

$$\rightarrow q(s) = -\frac{s\, m_\delta + \left(\frac{L_\alpha}{V_e} + \frac{g}{V_e E'}\right) m_\delta - \frac{L_\delta}{V_e} m_\alpha}{s^2 + \left(\frac{L_\alpha}{V_e} + \right.}$$

→ Temos que:

$$G_{\alpha\gamma} = \frac{a s + R}{(s-p)^2 + q^2} \quad e \quad G_{q\delta} = \frac{a' s + R'}{(s-p)^2 + q^2}$$

→ Dessa forma

$$\bar{\alpha}(s) = \eta(s) + \beta(s) = \frac{1}{s} \frac{a s + R}{(s-p)^2 + q^2} \left(1 - e^{-s}\right)$$

$$q(s) = \eta'(s) + \beta'(s) = \frac{1}{s} \frac{a' s + R'}{(s-p)^2 + q^2} \left[1 - e^{-s}\right)$$

→ Onde

$$\xi = 0,8624 \qquad q = W_0 \sqrt{1 - \xi^2} = 2,1729$$

→ Usando Frações parciais:

$$\frac{1}{s} \frac{a s + R}{(s-p)^2 + q^2} = \frac{A}{s} + \frac{C s + D}{(s-p)^2 + q^2}$$

$$a s + R = A\left((s-p)^2 + q^2\right) + C s^2 + D s$$

$$a s + R = A(s^2 - 2ps + p^2 + q^2) + C s^2 + D s$$

$$\begin{cases} A + C = 0 \\ -2pA + D = a \\ A(p^2 + q^2) = R \end{cases} \qquad A = \frac{R}{p^2 + q^2} = C \qquad D = a + \alpha p A$$

→ Então:

$$\bar{\alpha}_s = \frac{A}{s} - \frac{A e^{-s}}{s} + \frac{C s + D}{(s-p)^2 + q^2} - \frac{C s + D}{(s-p)^2 + q^2} e^{-s}$$

$$q_s = \frac{A'}{s} - \frac{A'}{s} e^{-s} + \frac{C' s + D'}{(s-p)^2 + q^2} e^{-s}$$

→ Aplicando: $\mathcal{L}^{-1}[F(s)] = f(t)$

$$\begin{cases} \mathcal{L}^{-1}(\bar{\alpha}(s)) = A \mathcal{L}^{-1}\left[\frac{1}{s}\right] - A \mathcal{L}^{-1}\left[\frac{t e^{-s}}{s}\right] + \mathcal{L}^{-1}\left[\frac{C s + D}{(s-p)^2 + p^2}\right] - \mathcal{L}^{-1}\left[\frac{C s + D}{(s-p)^2 + q^2}\right] \\ \mathcal{L}^{-1}(q(s)) \ldots \end{cases}$$

→ Logo:

$$x(t) = A - A\,u(t)\,(t-1) + e^{pt}\left(\frac{p.C+D}{q}\,\text{sen}\,q.t + C\cos q\,t\right)$$

$$-e^{p(t-1)}\left(\frac{p.C+D}{q}\,.\,\text{sen}\,(t-1) + C\cos q(t-1)\right)$$

$$q(t) = A' - A'\,u(t)\,(t-1) + e^{pt}\left(\frac{p.C'+D'}{q}\,\text{sen}\,q.t + C'\cos q\,t\right)$$

$$-e^{p(t-1)}\left(\frac{p.C'+D'}{q}\,\text{sen}\,q(t-1) + C'\cos q\,(t-1)\right)$$

ii) $x(t) = 2At + 2B + 2e^{pt}\left(\frac{Pc+D}{q}\,\text{sen}\,qt + c\cos qt\right) - 4A\left(t-\frac{1}{2}\right) - 4Bu\left(t-\frac{1}{2}\right)$

$- 4_{+}\,P\left(t-\frac{1}{2}\right)\left(\frac{Pc+D}{Q}\,\text{sen}\left(t-\frac{1}{2}\right) + c\cos q\left(t-\frac{1}{2}\right) + 2AU\,(t-1) + 2Bu\,(t-1) + 2e^{P(t-1)}\,.\left(\frac{Pc+D}{q}\,\text{sen}(t-\right.\right.$

6 i) Representa a velocidade de eficiência aerodinâmica

ii) No segundo regime. Como o avião está no segundo regime, a manobra que permite o avião subir, compreende um acréscimo da velocidade além da velocidade de equilíbrio. Assim, o piloto deve comandar uma diminuição do ângulo de ataque. O segundo regime se situa na faixa de velocidades baixas.

iii) Se a velocidade é pequena, o piloto diminui o ângulo de ataque, caso seja exigido ao piloto apenas a manutenção do avião em equilíbrio, porém se é exigido do piloto não somente a manutenção do avião horizontalmente, mas igualmente a fixação do vôo horizontal numa altitude determinada, se a altitude for alta o piloto diminui o ângulo de ataque.

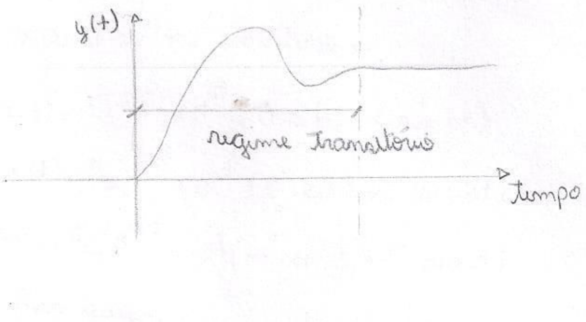
iv) Se a altitude for maior que a velocidade de equilíbrio o piloto deve aumentar o ângulo de ataque.

8 i) Isso quer dizer que ele não fixou um valor bastante grande do ângulo de ataque, então ele deve puxar o manche para trás.

ii) Ele deve empurrar o manche, porque o ângulo de ataque fixado por ele é muito grande.

7 i) O piloto deve recuar um pouco a manete

ii) A velocidade não se alterará, Diminuir o ângulo de ataque



(9) → Equação do movimento fugoidal

$$x = Ax + BU$$

$$\begin{bmatrix} \Delta\dot{\hat{V}} \\ \Delta\dot{H} \\ \dot{\gamma} \end{bmatrix} = \underbrace{\begin{bmatrix} U_V & U_H & U_\gamma \\ 0 & 0 & V_e \\ \gamma_V & \gamma_H & 0 \end{bmatrix}}_{\bar{A}} \begin{bmatrix} \Delta\hat{V} \\ \Delta H \\ \gamma \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} u_\alpha & v_F \\ 0 & 0 \\ \gamma_\alpha & \gamma_F \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta_\alpha \\ \Delta_f \end{bmatrix}$$

→ Resposta a uma perturbação externa $\Delta\alpha = \Delta F = 0$

$$\dot{X} = AX$$

→ Eq. caracter.

$$\det(\bar{A} - I\lambda) = 0$$

→ $\lambda^3 + A_1\lambda^2 + A_2\lambda + A_3 = 0$

sendo

$$A_1 = -(\eta_V - 2)\frac{g}{V_e E_e'} \quad ; \quad A_3 = \frac{g^2}{V_e E_e'} \rho_H (\eta_V - 2n_p)$$

$$A_2 = g\left[\left(\frac{2g}{V_e^2} - \rho_V\right)\left(1 - \frac{tg(\alpha_e - \alpha_F)}{E_e'}\right) + tg\frac{(\alpha_e + \alpha_p)}{E_e'}\left(\frac{\eta_V g}{V_e^2} - n_p\rho_H\right)\right]$$

→ Solução: uma raiz real e um par complexo

$\lambda_1 \in \mathbb{R}$ e $\lambda_2 = a \pm bi$

$$x(t) = Ae^{\lambda_1 t} + Ke^{at}\,sen(bt + \psi)$$

$$x(t) = Ae^{\lambda_1 t} + e^{at}(B\cos bt + C\,sen\,bt)$$

→ Relação:

$K\,sen\,\psi = B \rightarrow \psi = arctg\frac{B}{C}$, $K^2 = B^2 + C^2$ (IV)

$K\cos\psi = C$

→ Determinar as constantes:

$$x(t) = Ae^{\lambda_1 t} + e^{at}(B\cos bt + C\,sen\,bt)$$

$$\dot{x}(t) = A\lambda_1 e^{\lambda_1 t} + e^{at}(B'\cos bt + C'\,sen\,bt) \quad (V)$$

$$\ddot{x}(t) = A\lambda_1^2 e^{\lambda_1 t} + e^{at}(B''\cos bt + C''\,sen\,bt)$$

Nas quais:

$B' = aB + bC$ $\qquad$ $B'' = aB' + bC'$ $\qquad$ (VI)

$C' = aC - bB$ $\qquad$ $C'' = aC' - bB'$

→ Para $x(t), \dot{x}(t), \ddot{x}(t)$ em $t=0$

$$\begin{bmatrix} x_0 \\ \dot{x}_0 \\ \ddot{x}_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 \\ r_1 & a & b \\ r_1^2 & a^2-b^2 & 2ab \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A \\ B \\ C \end{bmatrix} \qquad \text{(VII)}$$

$$A = x_0 \frac{(a^2+b^2)}{d} - \dot{x}_0 \frac{2a}{d} + \ddot{x}_0 \frac{1}{d}$$

$$B = x_0 \frac{r_1(r_1-2a)}{d} + \dot{x}_0 \frac{2a}{d} - \ddot{x}_0 \cdot \frac{1}{d}$$

$$C = x_0 \frac{r_1 (a^2-b^2-r_1 a)}{bd} + \dot{x}_0 \frac{(r_1^2+b^2-a^2)}{bd} + \ddot{x}_0 \frac{(a-r_1)}{b\cdot d}$$

$$d = (r_1-a)^2 + b^2$$

→ Conhecendo-se $\Delta\hat{V}_0$, ΔH_0 e $\Delta\gamma_0 = \gamma_0$, temos:

$$\begin{bmatrix} \Delta\dot{\hat{V}}_0 \\ \Delta\dot{H}_0 \\ \dot{\gamma}_0 \end{bmatrix} = \bar{A} \begin{bmatrix} \Delta\hat{V}_0 \\ \Delta H_0 \\ \gamma_0 \end{bmatrix} \quad \text{e} \quad \begin{bmatrix} \Delta\ddot{\hat{V}}_0 \\ \Delta\ddot{H}_0 \\ \ddot{\gamma}_0 \end{bmatrix} = \bar{A} \begin{bmatrix} \Delta\dot{\hat{V}}_0 \\ \Delta\dot{H}_0 \\ \dot{\gamma}_0 \end{bmatrix} \qquad \text{(VIII)}$$

i) $H_0 = 9\,km$ e $V_e = 200\,m/s$, $(\Delta\hat{V}_0 = 0{,}01,\ \Delta H_0 = 0,\ \gamma_0 = 0)$

Temos:

$$\bar{A} = \begin{bmatrix} -5{,}887\cdot 10^{-3} & 0 & -9{,}903\cdot 10^{-2} \\ 0 & 0 & 200 \\ 9{,}716\cdot 10^{-2} & -5{,}140\cdot 10^{-6} & 0 \end{bmatrix}$$

Eq. caract.

$$s^3 + 0{,}58\cdot 10^{-2} s^2 + 0{,}596\cdot 10^{-2} s + 0{,}695\cdot 10^{-6} = 0$$

$$r_1 = -1{,}16\cdot 10^{-4}$$

$$r_{2,3} = -2{,}35\cdot 10^{-3} \pm 7{,}71\cdot 10^{-2}\, i$$

→ Na solução:

$$\Delta\hat{V} = A_V e^{r_1 t} + K_V e^{at} \operatorname{sen}(bt+\psi_V)$$

$$\Delta H = A_H e^{r_1 t} + K_H e^{at} \operatorname{sen}(bt+\psi_H)$$

$$\gamma = A_\gamma e^{r_1 t} + K_\gamma e^{at} \operatorname{sen}(bt+\psi_\gamma)$$

ou

$$\Delta\hat{V} = A_V e^{r_1 t} + e^{at}(B_V \cos bt + C_V \operatorname{sen} bt)$$

$$\Delta H = A_H e^{r_1 t} + e^{at}(B_H \cos bt + C_H \operatorname{sen} bt)$$

$$\gamma = A_\gamma e^{r_1 t} + e^{at}(B_\gamma \cos bt + C_\gamma \operatorname{sen} bt)$$

as. C. iniciais e VIII

$$\begin{bmatrix} \Delta\dot{\hat{V}}_0 \\ \Delta\dot{H}_0 \\ \dot{\gamma}_0 \end{bmatrix} = \bar{A} \begin{bmatrix} \Delta\hat{V}_0 \\ \Delta H_0 \\ \gamma_0 \end{bmatrix} \quad e \quad \begin{bmatrix} \Delta\ddot{\hat{V}}_0 \\ \Delta\ddot{H}_0 \\ \ddot{\gamma}_0 \end{bmatrix} = \bar{A} \begin{bmatrix} \Delta\dot{\hat{V}}_0 \\ \Delta\dot{H}_0 \\ \dot{\gamma}_0 \end{bmatrix}$$

$\Delta\hat{V}_0 = 0{,}01$ $\qquad \Delta\dot{\hat{V}}_0 = -5{,}88 \cdot 10^{-5}$ $\qquad \Delta\ddot{\hat{V}}_0 = -4{,}74 \cdot 10^{-5}$ $\qquad$ XI

$\Delta H_0 = 0$ $\qquad \Delta\dot{H}_0 = 0$ $\qquad \Delta\ddot{H}_0 = 1{,}94 \cdot 10^{-1}$

$\Delta\gamma_0 = 0$ $\qquad \Delta\dot{\gamma}_0 = 9{,}74 \cdot 10^{-4}$ $\qquad \Delta\ddot{\gamma}_0 = -5{,}73 \cdot 10^{-6}$

→ Usando XI em VII encontramos as ctes. no formato X, usando IV encontraremos a solução no formato IX

$A_V = 1{,}98 \cdot 10^{-3}$ $\qquad C_V = -4{,}8 \cdot 10^{-4}$ $\qquad B_H = -3{,}2 \cdot 10^{+1}$ $\qquad A_\gamma = -1{,}4 \cdot 10^{-4}$

$B_V = 8{,}01 \cdot 10^{-3}$ $\qquad A_H = 3{,}27 \cdot 10^{-1}$ $\qquad C_H = -3{,}06 \cdot 10^{-1}$ $\qquad B_\gamma = 1{,}9 \cdot 10^{-4}$

$C_\gamma = 1{,}2 \cdot 10^{-2}$ $\qquad \psi_V = -6 \cdot 10^{-2}$ rad $\qquad \psi_H = -3{,}1$ rad $\qquad \psi_\gamma = 1{,}5$ rad

$K_V = 8{,}0 \cdot 10^{-3}$ $\qquad K_H = 3{,}2 \cdot 10^{+1}$ $\qquad K_\gamma = 1{,}2 \cdot 10^{-2}$

10) → Os coeficientes A_1, A_2 e A_3 são:

$$A_1 = -(m_v - 2)\frac{g\varepsilon_e'}{V_e}$$

$$A_2 = g\left(\left(\frac{2g}{Ve^2} - \rho_H\right)(1 - \varepsilon_e' \, tg(\alpha_e + \alpha_F)) + \varepsilon_e' \, tg(\alpha_e + \alpha_F)\left(m_v \frac{g}{Ve^2} \cdot \frac{g}{Ve^2} - m_p \rho_H\right)\right)$$

$$A_3 = \frac{g^2 \varepsilon_e'}{V_e} \rho_H (m_v - 2m_p)$$

→ Os seis diferentes numeradores são os seguintes:

P/ $G_{V\alpha}$: $N_0 = U_\alpha$; $N_1 = U_\gamma \Gamma_\alpha$; $N_2 = V_e [U_H \Gamma_\alpha - U_\alpha \Gamma_H]$

$G_{H\alpha}$: $N_0 = 0$, $N_1 = V_e \Gamma_\alpha$; $N_2 = V_e [\Gamma_V U_\alpha - \Gamma_\alpha U_V]$

G_{VF}: $N_0 = U_F$; $N_1 = U_\gamma \Gamma_F$; $N_2 = V_e [U_H \Gamma_F - U_F \Gamma_H]$

G_{HF}: $N_0 = 0$; $N_1 = V_e \Gamma_F$; $N_2 = V_e [\Gamma_V U_F - \Gamma_F U_V]$

$G_{\gamma\alpha}$: $N_0 = \Gamma_\alpha$; $N_1 = \Gamma_V U_\alpha - \Gamma_\alpha U_V$; $N_2 = 0$

$G_{\gamma F}$: $N_0 = \Gamma_F$; $N_1 = \Gamma_V U_F - \Gamma_F U_V$; $N_2 = 0$