

Spiral cylindrique avec courbes terminales : deux arcs de cercle

Développement excentrique et anisochronisme en position horizontale

Approximations de Haag

Caractéristiques du spiral

➔ Référence : C:\Résonateur (TA)\Data\Bal_spiral cylindrique (ex num).mcd(R)

➔ Référence : C:\Résonateur (TA)\Data\Définition Atan.mcd(R)

Dimensions $\acute{e}p = 0.09 \text{ mm}$ $ha = 0.334 \text{ mm}$ $S = 0.03 \text{ mm}^2$ $R_0 = 5 \text{ mm}$ $TOL := 10^{-12}$

Elinvar $\rho_s = 8 \times 10^3 \text{ m}^{-3} \cdot \text{kg}$ $E = 1.7 \times 10^{11} \text{ Pa}$ $G = 6.538 \times 10^{10} \text{ Pa}$

Partie cylindrique $n_s := 10.15$ $\psi_0 := n_s \cdot 360 \cdot \text{deg}$ $\psi_0 = 3.654 \times 10^3 \text{ deg}$ $L := R_0 \cdot \psi_0$ $L = 318.872 \text{ mm}$

Amplitude stationnaire du balancier $\theta_0 = 270 \text{ deg}$

➔ Référence : C:\Résonateur (TA)\Tables\Modules J, I et W des barres élastiques.mcd(R)

$I_{33} := I_{f_rect}(\acute{e}p, ha)$ $W_{f3} := W_{f_rect}(\acute{e}p, ha)$

Courbe terminale

$r_{t1} := 0.8$ $r_{t1} := \text{racine}\left[\left(2 \cdot r_{t1} - 1\right)^4 - 4 \cdot \left(1 - r_{t1}\right)^4 - \pi^2 \cdot r_{t1}^2 \cdot \left(1 - r_{t1}\right)^2, r_{t1}\right] \cdot R_0$ $r_{t1} = 0.832 R_0$

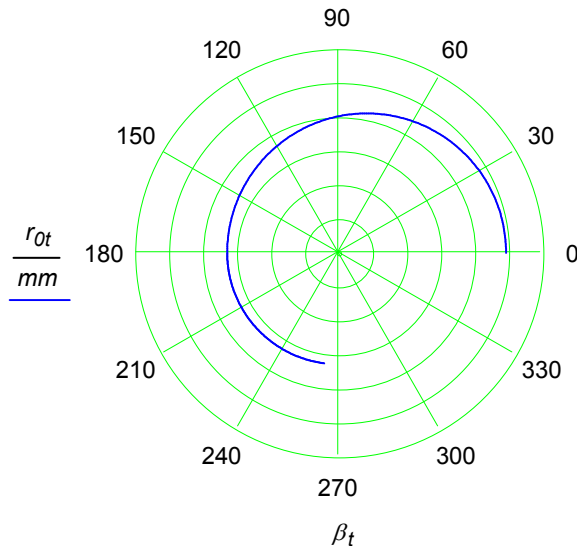
$r_{t2} := 2 \cdot r_{t1} - R_0$ $r_{t2} = 0.665 R_0$ $\beta_0 := \arctan\left[\frac{\pi \cdot r_{t1}}{2 \cdot (R_0 - r_{t1})}\right]$ $\beta_0 = 82.695 \text{ deg}$ $l_t := r_{t2} \cdot \beta_0 + \pi \cdot r_{t1}$

$X_{0t1}(\alpha_t) := R_0 - r_{t1} + r_{t1} \cdot \cos(\alpha_t)$ $Y_{0t1}(\alpha_t) := r_{t1} \cdot \sin(\alpha_t)$ $X_{0t2}(\beta_t) := -r_{t2} \cdot \cos(\beta_t)$ $Y_{0t2}(\beta_t) := -r_{t2} \cdot \sin(\beta_t)$

$n_t := 201$ $j := 0..n_t - 1$ $\Delta\alpha_t := \frac{\pi}{n_t - 1}$ $\alpha_{tj} := j \cdot \Delta\alpha_t$ $X_{tj} := X_{0t1}(\alpha_{tj})$ $Y_{tj} := Y_{0t1}(\alpha_{tj})$

$\Delta\beta_t := \frac{\beta_0}{n_t - 1}$ $\beta_{tj} := j \cdot \Delta\beta_t$ $X_{t2j} := X_{0t2}(\beta_{tj})$ $Y_{t2j} := Y_{0t2}(\beta_{tj})$ $X_t := \text{pile}(X_t, X_{t2})$ $Y_t := \text{pile}(Y_t, Y_{t2})$

$r_{0t} := \sqrt{X_t^2 + Y_t^2}$ $\beta_t := \text{Atan}(X_t, Y_t)$



Déplacement de la virole libre

$$\mathbf{OA} := R_0 \cdot e^{i \cdot \pi} \quad \mathbf{OB} := R_0 \cdot e^{i \cdot (\pi + \psi_0)} \quad L_t := L + 2 \cdot l_t$$

$$X_1 := \frac{1}{R_0^2} \cdot \left(\int_0^\pi X_{ot1}(\alpha) \cdot r_{t1} d\alpha + \int_0^{\beta_0} X_{ot2}(\beta) \cdot r_{t2} d\beta \right) \quad X_1 = 0$$

$$Y_1 := \frac{1}{R_0^2} \cdot \left(\int_0^\pi Y_{ot1}(\alpha) \cdot r_{t1} d\alpha + \int_0^{\beta_0} Y_{ot2}(\beta) \cdot r_{t2} d\beta \right) - 1 \quad Y_1 = 0$$

$$\rho_1 := \sqrt{X_1^2 + Y_1^2} \quad \varphi_1 := \text{Atan}(X_1, Y_1) \quad \boxed{\rho_1 = 0} \quad \boxed{\varphi_1 = 292.141 \text{ deg}}$$

$$X_2 := \frac{1}{R_0^3} \cdot \left[\int_0^\pi r_{t1} \cdot \alpha \cdot X_{ot1}(\alpha) \cdot r_{t1} d\alpha + \int_0^{\beta_0} (r_{t1} \cdot \pi + r_{t2} \cdot \beta) \cdot X_{ot2}(\beta) \cdot r_{t2} d\beta \right] + 1$$

$$Y_2 := \frac{1}{R_0^3} \cdot \left[\int_0^\pi r_{t1} \cdot \alpha \cdot Y_{ot1}(\alpha) \cdot r_{t1} d\alpha + \int_0^{\beta_0} (r_{t1} \cdot \pi + r_{t2} \cdot \beta) \cdot Y_{ot2}(\beta) \cdot r_{t2} d\beta \right]$$

$$\rho_2 := \sqrt{X_2^2 + Y_2^2} \quad \varphi_2 := \text{Atan}(X_2, Y_2) \quad \boxed{\rho_2 = 1.055} \quad \boxed{\varphi_2 = 147.579 \text{ deg}}$$

Avec des conditions de Phillips satisfaites

$$\rho_1 := 0$$

$$\mathbf{w}_{aPh}(\theta) := \frac{R_0^2}{L_t^2} \cdot \theta^2 \cdot \rho_2 \cdot \left(e^{-i \cdot \varphi_2} \cdot \mathbf{OA} - e^{i \cdot \varphi_2} \cdot \mathbf{OB} \cdot e^{i \cdot \theta} \right) \quad \mathbf{w}_{aPh}(\theta_0) = 0.011 + 0.034i \text{ mm}$$

Réaction sur le pivot de balancier

$$\mathbf{F}(\theta) := 2 \cdot \frac{E \cdot I_{33}}{L \cdot R_0^2} \cdot \mathbf{w}_{aPh}(\theta) \quad |\mathbf{F}(\theta_0)| = 3.111 \times 10^{-5} \text{ N}$$

Perturbation de période

$$H(x) := x \cdot (1 + x^2) \cdot J1(x) - 2 \cdot x^2 \cdot J0(x)$$

$$\delta_{aPh}(\theta_0) := -\frac{R_0^4}{2 \cdot L_t^4} \cdot \left[3 \cdot (\rho_2^2 + \rho_2^2) \cdot \theta_0^2 + 4 \cdot H(\theta_0) \cdot \rho_2 \cdot \rho_2 \cdot \cos(\psi_0 + \varphi_2 + \varphi_2) \right] \quad \delta_{aPh}(\theta_0) = -1.29 \times 10^{-6}$$

$$\mu_{aPh}(\theta_0) := -86400 \cdot \delta_{aPh}(\theta_0) \quad \boxed{\mu_{aPh}(\theta_0) = 0.111} \quad \boxed{\mu_{aPh}(180 \cdot \text{deg}) = 0.23}$$

$$\theta_m := 180 \cdot \text{deg}, 185 \cdot \text{deg} .. 360 \cdot \text{deg}$$

