Spiral cylindrique avec courbes terminales en arc 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 $ép = 0.09\,mm$ $ha = 0.334\,mm$ $S = 0.03\,mm^2$ $R_0 = 5\,mm$ $TOL := 10^{-12}$

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

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

Amplitude stationnaire du balancier $\theta_0 = 270\,deg$

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

$I_{33} := I_{f\_rect}(ép, ha)$ $W_{f3} := W_{f\_rect}(ép, ha)$

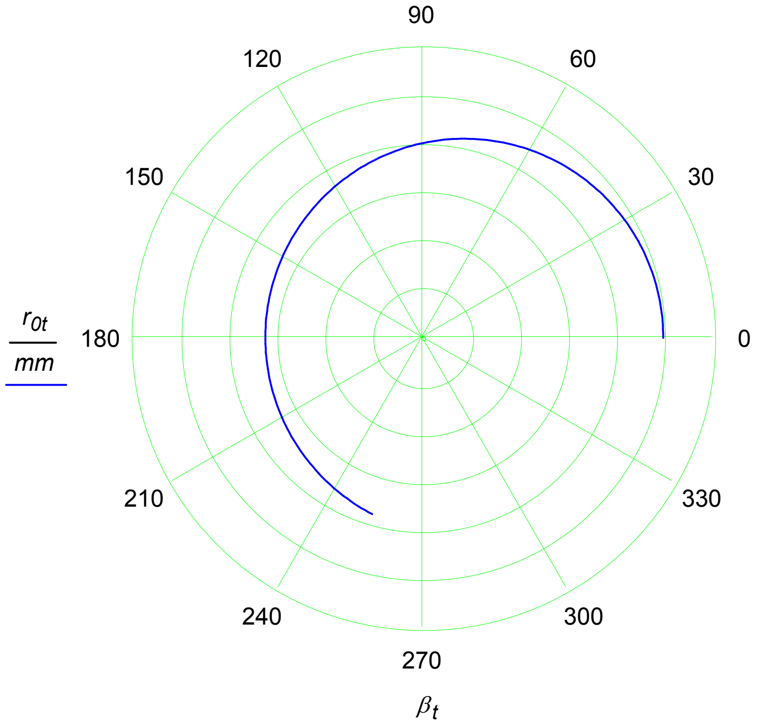
Courbe terminale

$\beta := 121.2 \cdot deg$ $\beta_0 := racine\left[\beta \cdot \left(\sqrt{2} \cdot sin(\beta) - 1\right) + sin(\beta) \cdot cos(\beta), \beta\right]$ $\beta_0 = 121.21\,deg$

$r_t := \dfrac{R_0}{\sqrt{2} \cdot sin(\beta_0)}$ $r_t = 4.134\,mm$ $l_t := r_t \cdot 2 \cdot \beta_0$ $X_{0t}(\alpha_t) := R_0 - r_t + r_t \cdot cos(\alpha_t)$ $Y_{0t}(\alpha_t) := r_t \cdot sin(\alpha_t)$

$n_t := 201$ $j := 0 .. n_t - 1$ $\Delta\alpha_t := \dfrac{2 \cdot \beta_0}{n_t - 1}$ $\alpha_{t_j} := j \cdot \Delta\alpha_t$ $X_{t_j} := X_{0t}(\alpha_{t_j})$ $Y_{t_j} := Y_{0t}(\alpha_{t_j})$

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



Déplacement de la virole libre

$Z_{0t}(\alpha) := X_{0t}(\alpha) + i \cdot Y_{0t}(\alpha)$ $\qquad$ $\mathbf{OA} := R_0 \cdot e^{i \cdot \pi}$ $\qquad$ $\mathbf{OB} := R_0 \cdot e^{i \cdot (\pi + \psi_0)}$ $\qquad$ $L_t := L + 2 \cdot l_t$

$$Z_1 := \frac{1}{R_0^{\,2}} \cdot \int_0^{2 \cdot \beta_0} Z_{0t}(\alpha) \cdot r_t \, d\alpha - i \qquad \rho_1 := |Z_1| \qquad \varphi_1 := arg(Z_1)$$

$\boxed{\rho_1 = 0}$ $\qquad$ $\boxed{\varphi_1 = 180\, deg}$

$$Z_2 := \frac{1}{R_0^{\,3}} \cdot \int_0^{2 \cdot \beta_0} r_t \cdot \alpha \cdot Z_{0t}(\alpha) \cdot r_t \, d\alpha + 1 \qquad \rho_2 := |Z_2| \qquad \varphi_2 := arg(Z_2)$$

$\boxed{\rho_2 = 1.074}$ $\qquad$ $\boxed{\varphi_2 = 145.651\, deg}$

Avec des conditions de Phillips satisfaites

$\rho_1 := 0$

$$\mathbf{w_{aPh}}(\theta) := \frac{R_0^{\,2}}{L_t^{\,2}} \cdot \theta^2 \cdot \rho_2 \cdot \left(e^{-i \cdot \varphi_2} \cdot \mathbf{OA} - e^{i \cdot \varphi_2} \cdot \mathbf{OB} \cdot e^{i \cdot \theta}\right) \qquad \mathbf{w_{aPh}}(\theta_0) = 0.012 + 0.036i\, mm$$

Réaction sur le pivot de balancier

$$\mathbf{F}(\theta) := 2 \cdot \frac{E \cdot I_{33}}{L \cdot R_0^{\,2}} \cdot \mathbf{w_{aPh}}(\theta) \qquad |\mathbf{F}(\theta_0)| = 3.267 \times 10^{-5}\, N$$

Perturbation de période

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

$$\delta_{aPh}(\theta_0) := -\frac{R_0^{\,4}}{2 \cdot L_t^{\,4}} \cdot \left[3 \cdot \left(\rho_2^{\,2} + \rho_2^{\,2}\right) \cdot \theta_0^{\,2} + 4 \cdot H(\theta_0) \cdot \rho_2 \cdot \rho_2 \cdot cos(\psi_0 + \varphi_2 + \varphi_2)\right] \qquad \delta_{aPh}(\theta_0) = -1.374 \times 10^{-6}$$

$\mu_{aPh}(\theta_0) := -86400 \cdot \delta_{aPh}(\theta_0)$ $\qquad$ $\boxed{\mu_{aPh}(\theta_0) = 0.119}$ $\qquad$ $\boxed{\mu_{aPh}(180 \cdot deg) = 0.238}$

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