

Théorie des goupilles de raquette

Théorie élémentaire des goupilles de raquette

Cas d'une montre bracelet

Caractéristiques du spiral avec une spire externe semi-circulaire

➔ Référence : E:\Résonateur (TA)\Data\Bal_spiral plat (ex num).mcd(R)

Dimensions $\epsilon p = 0.03 \text{ mm}$ $ha = 0.15 \text{ mm}$ $S = 4.5 \times 10^{-3} \text{ mm}^2$

$d2_{sp} = 4.52 \text{ mm}$ $d1_{sp} = 1.1 \text{ mm}$ $p_{sp} = 0.135 \text{ mm}$ $n_{sp} = 12.667$

$L_{sp} = 11.182 \text{ cm}$ $\psi_0 := 2 \cdot \pi \cdot n_{sp}$ $\psi_0 = 4.56 \times 10^3 \text{ deg}$

Position du piton $r_P := 0.5 \cdot d2_{sp}$ $\alpha_P := 0$ $x_P := r_P \cdot \cos(\alpha_P)$ $y_P := r_P \cdot \sin(\alpha_P)$
 $x_P = 2.26 \text{ mm}$ $y_P = 0 \text{ mm}$ $z_P := x_P + i \cdot y_P$

Position du point d'attache à la virole $r_V := 0.5 \cdot d1_{sp}$ $\alpha_V(\theta) := \psi_0 + \theta$ $x_V(\theta) := r_V \cdot \cos(\alpha_V(\theta))$ $y_V(\theta) := r_V \cdot \sin(\alpha_V(\theta))$

Spire externe formée d'un demi-cercle

$R_0 := r_P$ $x_0(\alpha) := R_0 \cdot \cos(\alpha)$ $y_0(\alpha) := R_0 \cdot \sin(\alpha)$ $s_t(\alpha) := R_0 \cdot \alpha$

Position du point de raccordement sur le spiral $\alpha_A := \pi$ $r_A := R_0$ $z_A := r_A \cdot e^{i \cdot \alpha_A}$

Forme initiale du spiral

$a := \frac{p_{sp}}{2 \cdot \pi}$ $r_s(\alpha) := r_A - a \cdot (\alpha - \alpha_A)$ $x_{0s}(\alpha) := r_s(\alpha) \cdot \cos(\alpha)$ $y_{0s}(\alpha) := r_s(\alpha) \cdot \sin(\alpha)$

$s(\alpha) := \frac{1}{2 \cdot a} \cdot (r_A^2 - r_s(\alpha)^2)$ $s(\alpha) := r_A \cdot (\alpha - \alpha_A) - \frac{a}{2} \cdot (\alpha - \alpha_A)^2$

Position des goupilles par rapport au piton:

$\epsilon := 0.02$ $L := \pi \cdot R_0 + L_{sp}$ $s_g := \epsilon \cdot L$ $s_g = 2.378 \text{ mm}$ $\alpha_g := \frac{s_g}{r_P}$ $\alpha_g = 60.297 \text{ deg}$

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

Angle parcouru par le balancier pour que le contact du spiral passe d'une goupille à l'autre: $\Delta\theta := 40 \cdot \text{deg}$

Perturbation de marche

$\phi_1(\theta_1, \theta_0) := \arcsin\left(\frac{\theta_1}{\theta_0}\right) \cdot (-\theta_0 \leq \theta_1 \leq \theta_0) + \frac{\pi}{2} \cdot (\theta_1 > \theta_0) - \frac{\pi}{2} \cdot (\theta_1 < -\theta_0)$

$\phi_2(\theta_2, \theta_0) := -\arcsin\left(\frac{\theta_2}{\theta_0}\right) \cdot (-\theta_0 \leq \theta_2 \leq \theta_0) + \frac{\pi}{2} \cdot (\theta_2 < -\theta_0) - \frac{\pi}{2} \cdot (\theta_2 > \theta_0)$

$\delta_1(\theta_1, \theta_0) := \frac{-1}{4 \cdot \pi} \cdot \frac{s_g}{L - s_g} \cdot (\pi - 2 \cdot \phi_1(\theta_1, \theta_0) - \sin(2 \cdot \phi_1(\theta_1, \theta_0)))$

$\delta_2(\theta_2, \theta_0) := \frac{-1}{4 \cdot \pi} \cdot \frac{s_g}{L - s_g} \cdot (\pi - 2 \cdot \phi_2(\theta_2, \theta_0) - \sin(2 \cdot \phi_2(\theta_2, \theta_0)))$

1) Goupilles serrées

$$\theta_1 := \Delta\theta \quad \theta_2 := \theta_1$$

$$\delta_1(\theta_1, \theta_0) = -4.143 \times 10^{-3} \quad \delta_2(\theta_2, \theta_0) = -6.061 \times 10^{-3} \quad \phi_1(\theta_1, \theta_0) = 0.149 \quad \phi_2(\theta_2, \theta_0) = -0.149$$

$$\mu_1(\theta_0) := -86400 \cdot (\delta_1(\theta_1, \theta_0) + \delta_2(\theta_2, \theta_0)) \quad \mu_1(\theta_0) = 881.633 \quad \frac{86400}{2} \cdot \frac{s_g}{L - s_g} = 881.633$$

2) Spiral à égales distances des goupilles en position d'équilibre:

$$\theta_1 := \frac{\Delta\theta}{2} \quad \theta_2 := \frac{-\Delta\theta}{2}$$

$$\delta_1(\theta_1, \theta_0) = -4.621 \times 10^{-3} \quad \delta_2(\theta_2, \theta_0) = -4.621 \times 10^{-3} \quad \phi_1(\theta_1, \theta_0) = 0.074 \quad \phi_2(\theta_2, \theta_0) = 0.074$$

$$\mu_1(\theta_0) := -86400 \cdot (\delta_1(\theta_1, \theta_0) + \delta_2(\theta_2, \theta_0)) \quad \mu_1(\theta_0) = 798.558 \quad \mu_c(\theta_0) := \mu_1(\theta_0)$$

3) Contact sur goupille externe

$$\theta_1 := \theta_0 + \Delta\theta \quad \theta_2 := \theta_1 - \Delta\theta$$

$$\delta_1(\theta_1, \theta_0) = 0 \quad \delta_2(\theta_2, \theta_0) = -0.01 \quad \phi_1(\theta_1, \theta_0) = 1.571 \quad \phi_2(\theta_2, \theta_0) = -1.571$$

$$\mu_1(\theta_0) := -86400 \cdot (\delta_1(\theta_1, \theta_0) + \delta_2(\theta_2, \theta_0)) \quad \mu_1(\theta_0) = 881.633 \quad 43200 \cdot \frac{s_g}{L - s_g} = 881.633$$

4) Contact sur goupille externe, non contact sur goupille interne

$$\theta_1 := \theta_0 + \frac{\Delta\theta}{2} \quad \theta_2 := \theta_1 - \Delta\theta$$

$$\delta_1(\theta_1, \theta_0) = 0 \quad \delta_2(\theta_2, \theta_0) = -0.01 \quad \phi_1(\theta_1, \theta_0) = 1.571 \quad \phi_2(\theta_2, \theta_0) = -1.183$$

$$\mu_1(\theta_0) := -86400 \cdot (\delta_1(\theta_1, \theta_0) + \delta_2(\theta_2, \theta_0)) \quad \mu_1(\theta_0) = 871.084 \quad \frac{86400}{2} \cdot \frac{s_g}{L - s_g} = 881.633$$

5) Le spiral est libre entre θ_1 et θ_2 (dissymétrie faible)

$$\theta_1 := 0 \cdot \text{deg} \quad \theta_2 := \theta_1 - \Delta\theta$$

$$\delta_1(\theta_1, \theta_0) = -5.102 \times 10^{-3} \quad \delta_2(\theta_2, \theta_0) = -4.143 \times 10^{-3} \quad \phi_1(\theta_1, \theta_0) = 0 \quad \phi_2(\theta_2, \theta_0) = 0.149$$

$$\mu_1(\theta_0) := -86400 \cdot (\delta_1(\theta_1, \theta_0) + \delta_2(\theta_2, \theta_0)) \quad \mu_1(\theta_0) = 798.787 \quad \mu_d(\theta_0) := \mu_1(\theta_0)$$

6) Contact fort sur goupille interne, contact faible sur goupille externe

$$\theta_1 := -90 \cdot \text{deg} + \Delta\theta \quad \theta_2 := \theta_1 - \Delta\theta$$

$$\delta_1(\theta_1, \theta_0) = -6.298 \times 10^{-3} \quad \delta_2(\theta_2, \theta_0) = -2.977 \times 10^{-3} \quad \phi_1(\theta_1, \theta_0) = -0.186 \quad \phi_2(\theta_2, \theta_0) = 0.34$$

$$\mu_1(\theta_0) := -86400 \cdot (\delta_1(\theta_1, \theta_0) + \delta_2(\theta_2, \theta_0)) \quad \mu_1(\theta_0) = 801.41 \quad \mu_{ie}(\theta_0) := \mu_1(\theta_0)$$

7) Contact sur goupille interne

$$\theta_1 := -300 \cdot \text{deg} \quad \theta_2 := \theta_1 - \Delta\theta$$

$$\delta_1(\theta_1, \theta_0) = -0.01 \quad \delta_2(\theta_2, \theta_0) = 0 \quad \phi_1(\theta_1, \theta_0) = -1.571 \quad \phi_2(\theta_2, \theta_0) = 1.571$$

$$\mu_1(\theta_0) := -86400 \cdot (\delta_1(\theta_1, \theta_0) + \delta_2(\theta_2, \theta_0)) \quad \mu_1(\theta_0) = 881.633 \quad \mu_{gi}(\theta_0) := \mu_1(\theta_0)$$

$\theta_m := 1 \cdot \text{deg}, 2 \cdot \text{deg} \dots 300 \cdot \text{deg}$

