

Chronomètre de marine

Oscillateur

Fréquence, période, amplitude stationnaire

$$f := 9000 \cdot h^{-1} \quad f = 2.5 \text{ Hz} \quad T_0 := \frac{1}{f} \quad T_0 = 0.4 \text{ s} \quad \omega_0 := 2 \cdot \pi \cdot f \quad \theta_0 := 270 \cdot \text{deg} \quad (\text{choix})$$

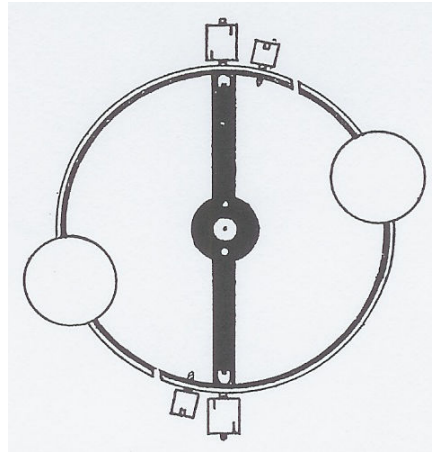
Coefficients de dilatation, constantes élastiques et masses volumiques

➔ Référence : D:\Résonateur (TE)\Data\Masse_vol - Coef_th - Mod_E.mcd(R)

$$\begin{aligned} \alpha_1 &:= \alpha_{\text{acier}} & \alpha_1 &= 1.15 \times 10^{-5} & \alpha_2 &:= \alpha_{\text{laiton}} & \alpha_2 &= 1.85 \times 10^{-5} & \gamma_{\text{acier}} &= -2.4 \times 10^{-4} \\ E_1 &:= E_{\text{acier}} & E_1 &= 2.1 \times 10^{11} \text{ Pa} & E_2 &:= E_{\text{laiton}} & E_2 &= 1 \times 10^{11} \text{ Pa} \\ \rho_1 &:= \rho_{\text{acier}} & \rho_1 &= 7.82 \times 10^3 \text{ m}^{-3} \cdot \text{kg} & \rho_2 &:= \rho_{\text{laiton}} & \rho_2 &= 8.7 \times 10^3 \text{ m}^{-3} \cdot \text{kg} \end{aligned}$$

Balancier de chronomètre de marine comportant (voir figure) :

- une serge bimétallique coupée
- deux masses compensatrices
- deux masses de réglage
- deux petites lames compensatrices



Serge

Dimensions $D_{s_ext} := 35 \cdot \text{mm}$ $e_{bs} := 1.3 \cdot \text{mm}$ $D_{s_int} := D_{s_ext} - 2 \cdot e_{bs}$ $D_{s_int} = 32.4 \text{ mm}$

Position angulaire de la coupe $\lambda_0 := 155 \cdot \text{deg}$

Epaisseur des bilames pour une compensation optimale $\Theta := 50$

$$y_M := \frac{3}{2} \cdot \frac{\alpha_2 - \alpha_1}{e_{bs}} \cdot \Theta \quad \xi := \frac{E_1}{E_2} \quad y(\mu) := y_M \cdot \left[1 + \frac{[(1 - \mu)^2 - \mu^2 \cdot \xi]^2}{4 \cdot \xi \cdot \mu \cdot (1 - \mu)} \right]^{-1} \quad \mu_m := \frac{1 - \sqrt{\xi}}{1 - \xi}$$

$$\mu_m = 0.408 \quad e_1 := e_{bs} \cdot \mu_m \quad e_1 = 0.531 \text{ mm} \quad e_2 := e_1 \cdot \sqrt{E_1 \cdot E_2^{-1}} \quad e_2 = 0.769 \text{ mm}$$

$$e_2 := e_{bs} - e_1 \quad e_2 = 0.769 \text{ mm} \quad h_{bs} := 4.3 \cdot \text{mm} \quad R_0 := 0.5 \cdot D_{s_int} + e_1 \quad R_0 = 16.731 \text{ mm}$$

Masse de la serge

$$M_1 := \pi \cdot \rho_1 \cdot h_{bs} \cdot [R_0^2 - (R_0 - e_1)^2] \quad M_2 := \pi \cdot \rho_2 \cdot h_{bs} \cdot [(R_0 + e_2)^2 - R_0^2] \quad M_{\text{serge}} := M_1 + M_2$$

Moment d'inertie de la serge

$$M_{\text{serge}} = 4.9 \text{ gm}$$

$$J_{\text{serge}} := \frac{1}{2} \cdot M_1 \cdot [R_0^2 + (R_0 - e_1)^2] + \frac{1}{2} \cdot M_2 \cdot [(R_0 + e_2)^2 + R_0^2] \quad J_{\text{serge}} = 14.1 \text{ gm} \cdot \text{cm}^2$$

Masse compensatrice

$$\begin{aligned}
 d_m &:= 7 \cdot \text{mm} & h_m &:= 6 \cdot \text{mm} & \lambda_m &:= 110 \cdot \text{deg} & \Delta\lambda_{fente} &:= \frac{d_m}{R_0} & R_m &:= \frac{1}{4} \cdot (D_{s_ext} + D_{s_int}) \\
 M_{cyl} &:= \frac{1}{4} \cdot \rho_{laiton} \cdot \pi \cdot d_m^2 \cdot h_m & \Delta M_{fente} &:= \rho_{laiton} \cdot e_{bs} \cdot h_{bs} \cdot R_0 \cdot \Delta\lambda_{fente} & M_{cyl} &= 2.009 \text{ gm} \\
 J_{cyl} &:= \frac{1}{8} \cdot M_{cyl} \cdot d_m^2 + M_{cyl} \cdot R_m^2 & \Delta J_{fente} &:= \frac{1}{4} \cdot \rho_2 \cdot h_{bs} \cdot \left[(R_0 + e_2)^4 - (R_0 - e_1)^4 \right] \cdot \Delta\lambda_{fente} \\
 M_m &:= M_{cyl} - \Delta M_{fente} & J_m &:= J_{cyl} - \Delta J_{fente} & M_m &= 1.668 \text{ gm} & J_m &= 4.852 \text{ gm} \cdot \text{cm}^2
 \end{aligned}$$

Poulet de balancier

$$\begin{aligned}
 d_p &:= 4 \cdot \text{mm} & h_p &:= 4 \cdot \text{mm} & \lambda_p &:= 0 \cdot \text{deg} & R_p &:= 18 \cdot \text{mm} & & \text{(position radiale de la base du poulet)} \\
 M_p &:= \frac{1}{4} \cdot \rho_{laiton} \cdot \pi \cdot d_p^2 \cdot h_p & & & & & M_p &= 0.437 \text{ gm} \\
 J_p &:= \frac{M_p}{12} \cdot \left(\frac{3}{4} \cdot d_p^2 + h_p^2 \right) + M_p \cdot \left(\frac{R_p}{2} + \frac{h_p}{2} \right)^2 & & & & & J_p &= 0.539 \text{ gm} \cdot \text{cm}^2
 \end{aligned}$$

Vis de réglage secondaire

$$\begin{aligned}
 d_{vis} &:= 2.5 \cdot \text{mm} & h_{vis} &:= 2.4 \cdot \text{mm} & \lambda_{vis} &:= -13 \cdot \text{deg} & R_{vis} &:= 18 \cdot \text{mm} & & \text{(position radiale de la base de la vis)} \\
 M_{vis} &:= \frac{1}{4} \cdot \rho_{laiton} \cdot \pi \cdot d_{vis}^2 \cdot h_{vis} & & & & & M_{vis} &= 0.102 \text{ gm} \\
 J_{vis} &:= \frac{M_{vis}}{12} \cdot \left(\frac{3}{4} \cdot d_{vis}^2 + h_{vis}^2 \right) + M_{vis} \cdot \left(\frac{R_{vis}}{2} + \frac{h_{vis}}{2} \right)^2 & & & & & J_{vis} &= 0.108 \text{ gm} \cdot \text{cm}^2
 \end{aligned}$$

Estimation du moment d'inertie du balancier

$$\begin{aligned}
 M_b &:= 1.2 \cdot (M_{serge} + 2 \cdot M_m + 2 \cdot M_p + 2 \cdot M_{vis}) & M_b &= 11.2 \text{ gm} \\
 J_b &:= 1.1 \cdot (J_{serge} + 2 \cdot J_m + 2 \cdot J_p + 2 \cdot J_{vis}) & J_b &= 27.6 \text{ gm} \cdot \text{cm}^2
 \end{aligned}$$

Constante élastique et dimensions du spiral

$$\begin{aligned}
 C &:= \omega_0^2 \cdot J_b & C &= 6.806 \times 10^{-4} \text{ N} \cdot \text{m} \\
 R_{sp} &:= 7.5 \cdot \text{mm} & n_{sp} &:= 11.5 & L_{sp} &:= 2 \cdot \pi \cdot n_{sp} \cdot R_{sp} & h_{sp} &:= 0.8 \cdot \text{mm} \\
 e_{sp} &:= \sqrt[3]{\frac{12 \cdot L_{sp} \cdot C}{E_{acier} \cdot h_{sp}}} & & & & & e_{sp} &= 0.298 \text{ mm}
 \end{aligned}$$