Echappement à ancre suisse à repos équidistants

Défaut d'isochronisme - Théorie élémentaire

Calibre 11 1/2''' - seconde au centre - automatique - balancier à vis

Référence :E:\Résonateur (TA)\Data\Calibre ASCBV.mcd(R)

$T_0 = 0.4\ s$ $\quad f = 2.5\ s^{-1}$ $\quad \omega_0 := 2\cdot\pi\cdot f$ $\quad J_b = 20\,mg\cdot cm^2$ $\quad \theta_0 = 270\,deg$

Assortiment

Distance des centres balancier - ancre $\quad b = 3.4\,mm$

Distance des centres ancre - roue d'échappement $\quad a = 3.15\,mm$

Diamètre de la cheville $\quad d_{cheville} = 0.4\,mm$

Distance axe de balancier - centre de courbure de la cheville $\quad \rho_3 = 0.71\,mm$

Angles parcourus par l'ancre

Coordonnée généralisée de l'ancre ψ = angle parcouru par l'ancre à partir de sa position de repos

Angle de dégagement et de repos $\quad D_a := \varepsilon \quad \varepsilon := 2.5\cdot deg$

Angle total d'impulsion partagée $\quad i_a := \Delta\psi_{ie} \quad i_a = 9\,deg$

Angles de tirage entrée $\quad \beta'_e := 15\cdot deg \quad \beta_e := \beta'_e - \varepsilon \quad \beta_e = 12.5\,deg$

sortie $\quad \beta'_s := 13\cdot deg \quad \beta_s := \beta'_s + \varepsilon \quad \beta_s = 15.5\,deg$

Chemin perdu ou angle de sûreté $\quad \Delta\psi_{cp} := 0.5\cdot deg$

Angle de levée total de l'ancre $\quad \lambda_a := D_a + i_a + \Delta\psi_{cp} \quad \lambda_a = 12\,deg$

Angles parcourus par le balancier (échappement symétrique)

Angle de levée du balancier $\quad \lambda_b := 48\cdot deg$

Distance axe de l'ancre - centre de courbure de la cheville en position de repos

$$\rho_2 := \sin\left(\frac{\lambda_b}{2}\right)\cdot\sin\left(\frac{\lambda_a}{2}\right)^{-1}\cdot\rho_3 \qquad \rho_2 = 2.763\,mm$$

Vérification de la distance des centres ancre-balancier $\quad \rho_2\cdot\cos\left(\frac{\lambda_a}{2}\right) + \rho_3\cdot\cos\left(\frac{\lambda_b}{2}\right) = 3.4\,mm$

Distance axe de l'ancre au point de contact de la cheville au début du dégagement

$R'_2 := \rho_2$ (approx)

Distance axe du balancier au point de contact de la cheville au début du dégagement

$$\alpha := -\frac{\lambda_a}{2} + \arctan\left(\frac{d_{cheville}}{2\cdot\rho_2}\right) \qquad R_3 := \sqrt{\left(R'_2\cdot\sin(\alpha)\right)^2 + \left(b - R'_2\cdot\cos(\alpha)\right)^2} \qquad R_3 = 0.645\,mm$$

Angle de dégagement $\quad D_b := \frac{R'_2}{R_3}\cdot D_a \quad D_b = 10.708\,deg$

Début du dégagement d'entrée	$\theta_1 := -0.5\cdot\lambda_b$	$\theta_1 = -24\,deg$
Fin du dégagement et début d'impulsion d'entrée	$\theta_2 := \theta_1 + D_b$	$\theta_2 = -13.29\,deg$
Fin de l'impulsion d'entrée	$\theta_3 := 0.5\cdot\lambda_b$	$\theta_3 = 24\,deg$
Angle d'impulsion	$i_b := \theta_3 - \theta_2$	$i_b = 37.29\,deg$
Début du dégagement de sortie	θ_3	$\theta_3 = 24\,deg$
Fin du dégagement et début d'impulsion de sortie	$\theta_4 := -\theta_2$	$\theta_4 = 13.29\,deg$
Fin de l'impulsion de sortie	θ_1	$\theta_1 = -24\,deg$

Angles parcourus par la roue d'échappement (repos équidistants)

Position de repos de la roue d'échappement et contact dent - palette

$z_e = 15$ $\quad m_{embrassé} := 2.5$ $\quad \alpha_0 := \dfrac{360\cdot deg}{2\cdot z_e}\cdot m_{embrassé}$ $\quad \alpha_0 = 30\,deg$

$R_1 := a\cdot cos(\alpha_0)$ $\quad R_1 = 2.728\,mm$ $\quad R_2 := R_1\cdot tan(\alpha_0)$ $\quad R_2 = 1.575\,mm$

Angle de recul sur la palette d'entrée

approx

$\delta_e := tan(\alpha_0)\cdot\left(1 - \dfrac{cos(\beta_e + \varepsilon)}{cos(\beta_e)}\right)$ $\quad \delta_e = 0.351\,deg$ $\quad \delta_e := \varepsilon\cdot tan(\alpha_0)\cdot tan(\beta_e)$ $\quad \delta_e = 0.32\,deg$

Angle de recul sur la palette de sortie

approx

$\delta_s := tan(\alpha_0)\cdot\left(1 - \dfrac{cos(\beta'_s + \varepsilon)}{cos(\beta'_s)}\right)$ $\quad \delta_s = 0.365\,deg$ $\quad \delta_s := \varepsilon\cdot tan(\alpha_0)\cdot tan(\beta'_s)$ $\quad \delta_s = 0.333\,deg$

Angle d'impulsion de la roue $\quad \Delta\alpha_i := \Delta\alpha_p + \Delta\alpha_d$ $\quad \Delta\alpha_i = 10.5\,deg$

Angle de chute de la roue $\quad \Delta\alpha_{ch} = 1.5\,deg$

Angle parcouru par la roue par alternance $\quad \Delta\alpha_p + \Delta\alpha_d + \Delta\alpha_{ch} = 12\,deg$ $\quad$ vérification $\quad \dfrac{360\cdot deg}{2\cdot z_e} = 12\,deg$

Couple à la roue d'échappement

$C_B = 10.019\,N\cdot mm$ $\quad C_B = 0.01\,m^2\cdot kg\cdot s^{-2}$ $\quad \rho_0 = 4.38\times 10^3$ $\quad C_r := \dfrac{C_B}{\rho_0}$ $\quad C_r = 2.287\times 10^{-3}\,N\cdot mm$

Rapports de couple roue - balancier

Dégagement d'entrée $\quad \beta_{me} := \dfrac{\beta_e + \beta'_e}{2}$ $\quad \Lambda_{de} := \dfrac{D_a}{D_b}\cdot tan(\alpha_0)\cdot tan(\beta_{me})$ $\quad \Lambda_{de} = 0.033$

Dégagement de sortie $\quad \beta_{ms} := \dfrac{\beta_s + \beta'_s}{2}$ $\quad \Lambda_{ds} := \dfrac{D_a}{D_b}\cdot tan(\alpha_0)\cdot tan(\beta_{ms})$ $\quad \Lambda_{ds} = 0.034$

Impulsion $\quad \Lambda_i := \dfrac{\Delta\alpha_i}{i_b}$ $\quad \Lambda_i = 0.282$

Perturbation de marche due à l'échappement (théorie élémentaire)

$$K := \frac{10800 \cdot T_0^{\ 2} \cdot C_r}{J_b \cdot \pi^3} \qquad K = 6.374 \times 10^4 \qquad I(\Lambda, \theta_0, \theta_d, \theta_f) := \Lambda \cdot \left(\sqrt{\theta_0^{\ 2} - \theta_f^{\ 2}} - \sqrt{\theta_0^{\ 2} - \theta_d^{\ 2}}\right)$$

Dégagement $\quad \mu_d(\theta_0) := \frac{-K}{\theta_0^{\ 2}} \cdot \left(I(\Lambda_{de}, \theta_0, \theta_1, \theta_2) + I(\Lambda_{de}, \theta_0, \theta_3, \theta_4)\right) \qquad \mu_d(\theta_0) = -2.45$

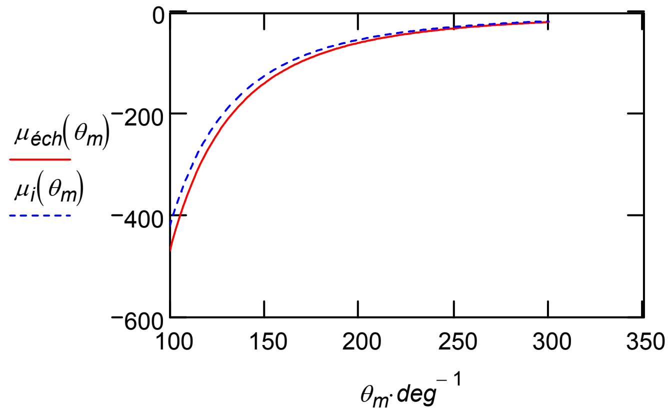
Impulsion $\quad \mu_i(\theta_0) := \frac{K}{\theta_0^{\ 2}} \cdot \left(I(\Lambda_i, \theta_0, \theta_2, \theta_3) + I(\Lambda_i, \theta_0, \theta_4, \theta_1)\right) \qquad \mu_i(\theta_0) = -20.916$

Perturbation de marche totale $\quad \mu_{éch}(\theta_0) := \mu_d(\theta_0) + \mu_i(\theta_0) \qquad \mu_{éch}(\theta_0) = -23.366$

$\theta_m := 100 \cdot deg, 101 \cdot deg .. 300 \cdot deg$

Retard à 180° pour une
montre réglée à 270°

$\mu_{éch}(180 \cdot deg) - \mu_{éch}(\theta_0) = -55.751$



Défaut de mise au repère (théorie élémentaire)

Soit $\Delta\theta_{ch}$ le défaut de repère: la cheville de plateau a une position angulaire $+\Delta\theta_{ch}$ par rapport à la ligne des centres balancier - ancre en position d'équilibre du système balancier - spiral libre.
On supposera les rapports de couples Λ_i non modifiés.
Les angles θ_i s

Dégagement $\quad \mu_{dr}(\theta_0, \Delta\theta_{ch}) := \frac{-K}{\theta_0^{\ 2}} \cdot \left(I(\Lambda_{de}, \theta_0, \theta_1 - \Delta\theta_{ch}, \theta_2 - \Delta\theta_{ch}) + I(\Lambda_{de}, \theta_0, \theta_3 - \Delta\theta_{ch}, \theta_4 - \Delta\theta_{ch})\right)$

Impulsion $\quad \mu_{ir}(\theta_0, \Delta\theta_{ch}) := \frac{K}{\theta_0^{\ 2}} \cdot \left(I(\Lambda_i, \theta_0, \theta_2 - \Delta\theta_{ch}, \theta_3 - \Delta\theta_{ch}) + I(\Lambda_i, \theta_0, \theta_4 - \Delta\theta_{ch}, \theta_1 - \Delta\theta_{ch})\right)$

Variation de marche dû au défaut de mise au repère

$\Delta\mu_{rep}(\Delta\theta_{ch}) := \mu_{dr}(\theta_0, \Delta\theta_{ch}) + \mu_{ir}(\theta_0, \Delta\theta_{ch}) - \mu_{éch}(\theta_0) \qquad \Delta\theta_{ch} := -10 \cdot deg, -9.9 \cdot deg .. 10 \cdot deg$