

Echappement à ancre suisse à repos équidistants

Dégagement d'entrée - Rapports de transmission

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

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

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

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

Assortiment

Distance des centres balancier - ancre $b = 3.4 \text{ mm}$

Distance des centres ancre - roue d'échappement $a = 3.15 \text{ mm}$

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

Distance axe de balancier - centre de courbure de la cheville $\rho_3 = 0.71 \text{ mm}$

Coordonnées du point de contact C du bec de dent contre le plan de repos de la palette en **fin de dégagement**

$$\alpha_0 = 30 \text{ deg} \quad \gamma_0 := \frac{\pi}{2} - \alpha_0 \quad R_1 := a \cdot \cos(\alpha_0) \quad R_1 = 2.728 \text{ mm} \quad R_2 := R_1 \cdot \tan(\alpha_0) \quad R_2 = 1.575 \text{ mm}$$

Coefficient de frottement dent - palette $\phi := 8 \cdot \text{deg} \quad f_c := \tan(\phi) \quad f_c = 0.141$

Angles parcourus par l'ancre

Angle de levée total de l'ancre $\lambda_a = 12 \text{ deg}$

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

Angles de tirage à l'entrée $\beta_{te} = 15 \text{ deg} \quad \beta_e := \beta_{te} - \varepsilon \quad \beta_e = 12.5 \text{ deg}$

Déplacement de l'ancre lors du dégagement $\psi := 0, 0.01 \cdot \varepsilon \dots 0.9999 \varepsilon$

Inclinaison de la palette d'entrée lors du dégagement $\beta_C(\psi) := -\alpha_0 + \beta_e + \psi \quad \beta_C(0) = -17.5 \text{ deg} \quad \beta_C(\varepsilon) = -15 \text{ deg}$

Angles parcourus par la roue d'échappement

Angle de recul sur la palette d'entrée approx

$$\delta_e := \tan(\alpha_0) \cdot \left(1 - \frac{\cos(\beta_e + \varepsilon)}{\cos(\beta_e)} \right) \quad \delta_e = 0.35137 \text{ deg} \quad \delta := \varepsilon \cdot \tan(\alpha_0) \cdot \tan(\beta_e) \quad \delta = 0.32 \text{ deg}$$

Déplacement de la roue lors du dégagement

$$\alpha_r(\psi) := -\tan(\alpha_0) \cdot \frac{\cos(\beta_e) - \cos(\beta_e + \psi)}{\cos(\beta_e)} \cdot (0 \leq \psi \leq \varepsilon) \quad \alpha_r(0) = 0 \text{ deg} \quad \alpha_r(\varepsilon) = -0.35137 \text{ deg}$$

Coordonnées du point de contact C lors du dégagement

$$\alpha_C(\psi) := -\alpha_0 + \delta_e + \alpha_r(\psi) \quad \alpha_C(0) = -29.649 \text{ deg} \quad \alpha_C(\varepsilon) = -30 \text{ deg} \quad R_1 = 2.728 \text{ mm}$$

$$R_2(\psi) := \sqrt{R_1^2 + a^2 - 2 \cdot a \cdot R_1 \cdot \cos(\alpha_C(\psi))} \quad R_2(0) = 1.558 \text{ mm} \quad R_2(\varepsilon) = 1.575 \text{ mm}$$

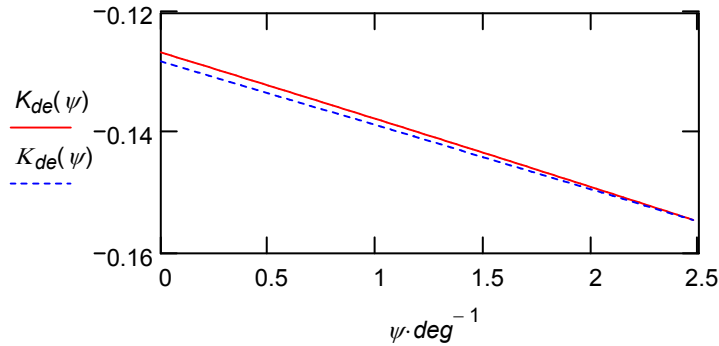
$$\gamma_C(\psi) := -\arcsin\left(\frac{R_1}{R_2(\psi)} \cdot \sin(\alpha_C(\psi))\right) \quad \gamma_C(0) = 59.998 \text{ deg} \quad \gamma_C(\varepsilon) = 60 \text{ deg}$$

Rapport des vitesses angulaires roue - ancre $K_{de} = \omega_r / \omega_a$

$$K_{de}(\psi) := \frac{-R_2(\psi)}{R_1} \cdot \frac{\cos(\beta_C(\psi) - \gamma_C(\psi))}{\cos(\beta_C(\psi) - \alpha_C(\psi))}$$

Approximation

$$K_{de}(\psi) := -\tan(\alpha_0) \cdot \tan(\beta_e + \psi)$$



Début du dégagement

$$K_{de}(0) = -0.12649$$

$$K_{de}(0) = -0.128$$

Fin du dégagement

$$K_{de}(\varepsilon) = -0.1547$$

$$K_{de}(\varepsilon) = -0.1547$$

Variation du rapport de vitesses

$$X_{de}(\psi) := \frac{d}{d\psi} K_{de}(\psi) \quad X_{de}(0) = -0.59768 \quad X_{de}(0.9999 \cdot \varepsilon) = -0.61023$$

Linéarisation $AK_{de} := K_{de}(0) \quad \Delta K_{de} := K_{de}(\varepsilon) - K_{de}(0) \quad XI_{de} := \frac{\Delta K_{de}}{\varepsilon} \quad XI_{de} = -0.647$

$$KI_{de}(\psi) := AK_{de} + XI_{de} \cdot \psi \quad KI_{de}(0) = -0.12649 \quad KI_{de}(\varepsilon) = -0.1547$$

Rapport des vitesses tangentielles

$$v_{Ca}(\psi) := R_2(\psi) \cdot \sin(\beta_C(\psi) - \gamma_C(\psi)) \quad v_{Cr}(\psi) := -K_{de}(\psi) \cdot R_1 \cdot \sin(\beta_C(\psi) - \alpha_C(\psi)) \quad \frac{v_{Ca}(\varepsilon)}{v_{Cr}(\varepsilon)} = -13.928$$

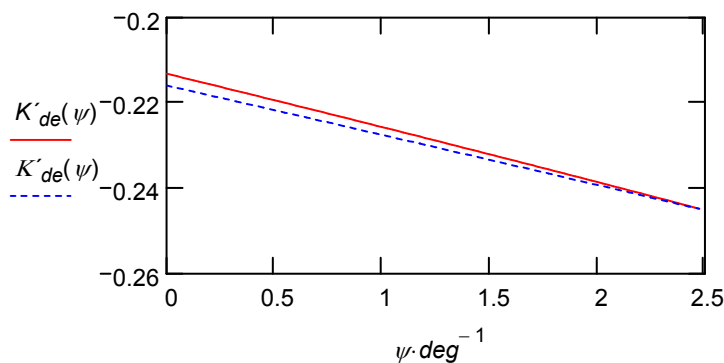
$$\varepsilon_C(\psi) := \frac{v_{Cr}(\psi) - v_{Ca}(\psi)}{|v_{Cr}(\psi) - v_{Ca}(\psi)|} \quad \varepsilon_C(0) = 1 \quad \varepsilon_C(\varepsilon) = 1$$

Rapport des couples ancre - roue $K'_{de} = C_a / C_r$

$$K'_{de}(\psi) := \frac{-R_2(\psi)}{R_1} \cdot \frac{\cos(\beta_C(\psi) - \gamma_C(\psi) + \phi \cdot \varepsilon_C(\psi))}{\cos(\beta_C(\psi) - \alpha_C(\psi) + \phi \cdot \varepsilon_C(\psi))}$$

Approximation

$$K'_{de}(\psi) := -\tan(\alpha_0) \cdot \tan(\beta_e + \psi + \phi)$$



Début du dégagement

$$K'_{de}(0) = -0.2131$$

$$K'_{de}(0) = -0.21586$$

Fin du dégagement

$$K'_{de}(\varepsilon) = -0.24507$$

$$K'_{de}(\varepsilon) = -0.24507$$

Variation du rapport de couples

$$X'_{de}(\psi) := \frac{d}{d\psi} K'_{de}(\psi) \quad X'_{de}(0) = -0.6481 \quad X'_{de}(0.9999 \cdot \varepsilon) = -0.67065$$

Linéarisation $AK'_{de} := K'_{de}(0) \quad \Delta K'_{de} := K'_{de}(\varepsilon) - K'_{de}(0) \quad XI'_{de} := \frac{\Delta K'_{de}}{\varepsilon} \quad XI'_{de} = -0.733$

$$KI'_{de}(\psi) := AK'_{de} + XI'_{de} \cdot \psi \quad KI'_{de}(0) = -0.2131 \quad KI'_{de}(\varepsilon) = -0.24507$$

Angles parcourus par le balancier

Angle de levée total du balancier $\lambda_b = 48 \text{ deg}$

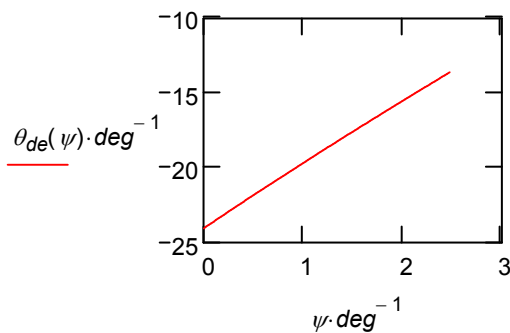
Distance axe de l'ancre - centre de la cheville de plateau
au début du dégagement $\rho_2 := \rho_3 \cdot \sin\left(\frac{\lambda_b}{2}\right) \cdot \sin\left(\frac{\lambda_a}{2}\right)^{-1} \quad \rho_2 = 2.763 \text{ mm}$

Distance des centres ancre - balancier (vérification) $b = 3.4 \text{ mm} \quad \rho_2 \cdot \cos\left(\frac{\lambda_a}{2}\right) + \rho_3 \cdot \cos\left(\frac{\lambda_b}{2}\right) = 3.396 \text{ mm}$

Inclinaison de la fourchette lors du dégagement $\beta_0 := \frac{-\lambda_a}{2} \quad \beta_F(\psi) := \beta_0 + \psi$

Position angulaire du balancier en fonction du déplacement de l'ancre ψ

$x := \frac{-\lambda_b}{4} \quad \theta_{de}(\psi) := \text{racine}\left[\rho_3 \cdot \left(\frac{\tan(x)}{\tan(\beta_F(\psi))} + 1\right) - \frac{b}{\cos(x)} \cdot x\right] \quad \theta_{de}(0) = -24.04 \text{ deg}$



$\theta_{de}(\varepsilon) = -13.5 \text{ deg}$

Angle de dégagement du balancier:

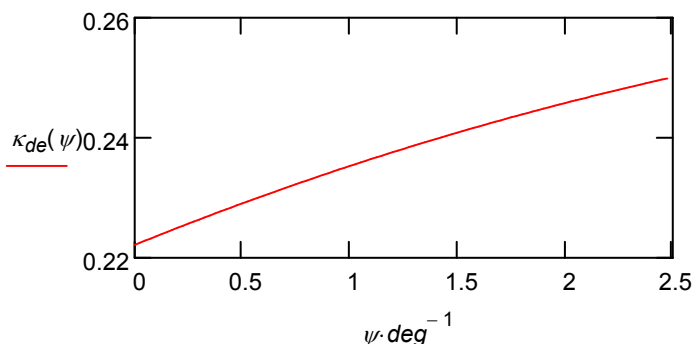
$D_b := \theta_{de}(\varepsilon) + \frac{\lambda_b}{2} \quad D_b = 10.502 \text{ deg}$

Rapport des vitesses angulaires ancre - balancier $\kappa_{de} = \omega_a / \omega_b$

$r_2(\psi) := \rho_3 \cdot \frac{\sin(\theta_{de}(\psi))}{\sin(\beta_F(\psi))} \quad \alpha_F(\psi) := \beta_F(\psi) + \arctan\left(\frac{d_{cheville}}{2 \cdot r_2(\psi)}\right)$

$R'_2(\psi) := r_2(\psi) \cdot \cos(-\beta_F(\psi) + \alpha_F(\psi))^{-1} \quad R_3(\psi) := \sqrt{(R'_2(\psi) \cdot \sin(\alpha_F(\psi)))^2 + (b - R'_2(\psi) \cdot \cos(\alpha_F(\psi)))^2}$

$\gamma_F(\psi) := \arcsin\left(\frac{R'_2(\psi)}{R_3(\psi)} \cdot \sin(\alpha_F(\psi))\right) \quad \kappa_{de}(\psi) := \frac{R_3(\psi) \cdot \cos(\beta_F(\psi) + \gamma_F(\psi))}{R'_2(\psi) \cdot \cos(\beta_F(\psi) - \alpha_F(\psi))}$



Début du dégagement

$\kappa_{de}(0) = 0.22216$

Fin du dégagement

$\kappa_{de}(\varepsilon) = 0.25012$

Variation du rapport de vitesses

$\chi_{de}(\psi) := \frac{d}{d\psi} \kappa_{de}(\psi) \quad \chi_{de}(0) = 0.83512 \quad \chi_{de}(0.9999 \cdot \varepsilon) = 0.45866$

Linéarisation $A_{\kappa_{de}} := \kappa_{de}(0) \quad \Delta \kappa_{de} := \kappa_{de}(\varepsilon) - \kappa_{de}(0) \quad \chi_{de}^l := \frac{\Delta \kappa_{de}}{\varepsilon} \quad \chi_{de}^l = 0.641$

$\kappa_{de}^l(\psi) := A_{\kappa_{de}} + \chi_{de}^l \cdot \psi \quad \kappa_{de}^l(0) = 0.22216 \quad \kappa_{de}^l(\varepsilon) = 0.25012$

Rapport des vitesses tangentielles

$$v_{Fb}(\psi) := -R_3(\psi) \cdot \sin(\beta_F(\psi) + \gamma_F(\psi)) \quad v_{Fa}(\psi) := -\kappa_{de}(\psi) \cdot R'_2(\psi) \cdot \sin(\beta_F(\psi) - \alpha_F(\psi)) \quad \frac{v_{Fb}(\varepsilon)}{v_{Fa}(\varepsilon)} = 0.151$$

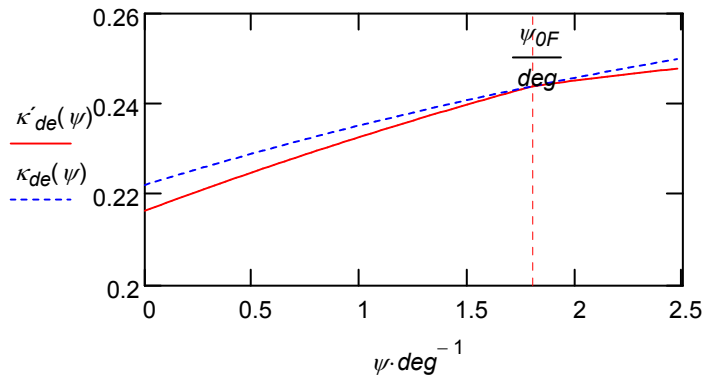
$$\varepsilon_F(\psi) := \frac{v_{Fa}(\psi) - v_{Fb}(\psi)}{|v_{Fa}(\psi) - v_{Fb}(\psi)|} \quad \varepsilon_F(0) = -1 \quad \varepsilon_F(\varepsilon) = 1$$

Rapport des couples balancier - ancre $\kappa'_{de} = C_b / C_a$

$$\kappa'_{de}(\psi) := \frac{R_3(\psi) \cdot \cos(\beta_F(\psi) + \gamma_F(\psi) + \phi \cdot \varepsilon_F(\psi))}{R'_2(\psi) \cdot \cos(\beta_F(\psi) - \alpha_F(\psi) + \phi \cdot \varepsilon_F(\psi))}$$

Passage du point de contact cheville - entrée de fourchette par la ligne des centres

$$x := \frac{\varepsilon}{2} \quad \psi_{0F} := \text{racine}(\alpha_F(x), x) \quad \psi_{0F} = 1.804 \text{ deg} \quad \kappa'_{de}(\psi_{0F}) = 0.244$$



Début du dégagement

$$\kappa'_{de}(0) = 0.21646$$

Passage par la ligne des centres

$$\kappa'_{de}(\psi_{0F}) = 0.24395$$

Fin du dégagement

$$\kappa'_{de}(\varepsilon) = 0.24794$$

Variation du rapport de couples

$$\chi'_{de}(\psi) := \frac{d}{d\psi} \kappa'_{de}(\psi) \quad \chi'_{de}(0) = 1.01389 \quad \chi'_{de}(\varepsilon) = 0.27937$$

Linéarisation $A_1 := \kappa'_{de}(0) \quad B_1 := \frac{\kappa'_{de}(\psi_{0F}) - \kappa'_{de}(0)}{\psi_{0F}} \quad A_2 := \kappa'_{de}(\psi_{0F}) \quad B_2 := \frac{\kappa'_{de}(\varepsilon) - \kappa'_{de}(\psi_{0F})}{\varepsilon - \psi_{0F}}$

$$\kappa'_{de}(\psi) := (A_1 + B_1 \cdot \psi) \cdot (0 \leq \psi < \psi_{0F}) + [A_2 + B_2 \cdot (\psi - \psi_{0F})] \cdot (\psi_{0F} \leq \psi \leq \varepsilon)$$

$$\kappa'_{de}(0) = 0.21646 \quad \kappa'_{de}(\psi_{0F}) = 0.24395 \quad \kappa'_{de}(\varepsilon) = 0.24794$$