Echappement à ancre suisse à repos équidistants

Bilan énergétique et rendement de l'échappement

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

Référence :E:\Résonateur (TA)\Echappement\EASRE - D_entrée - perturbation d'amplitude.mcd(R)

Référence :E:\Résonateur (TA)\Echappement\EASRE - I_entrée - perturbation d'amplitude.mcd(R)

$T_0 = 0.4\ s$ $\quad f = 2.5\ s^{-1}$ $\quad \omega_0 := 2\cdot\pi\cdot f$ $\quad J_b = 20\,mg\cdot cm^2$ $\quad \theta_0 = 270\,deg$ $\quad \psi := 0$ $\quad ms := 10^{-3}\cdot s$

Couple à la roue d'échappement

$C_B = 10.019\,N\cdot mm$ $\quad \rho_0 = 4.38\times 10^3$ $\quad C_r := \dfrac{C_B}{\rho_0}$ $\quad C_r = 2.287\times 10^{-3}\,N\cdot mm$ $\quad \varepsilon_c := 0.65$

Perturbations d'amplitudes par les fonctions d'entrée quasi-statique (glissement)

Avec défaut de contact dent - palette au début de l'impulsion

Dégagement d'entrée $\quad \Delta\theta_{gde}(270\cdot deg, C_r) = -0.55\,deg$ $\quad \Delta\theta_{gde}(180\cdot deg, C_r) = -0.826\,deg$

Impulsion partagée palette $\quad \Delta\theta_{gip}(270\cdot deg, C_r) = 3.108\,deg$ $\quad \Delta\theta_{gip}(180\cdot deg, C_r) = 5.524\,deg$

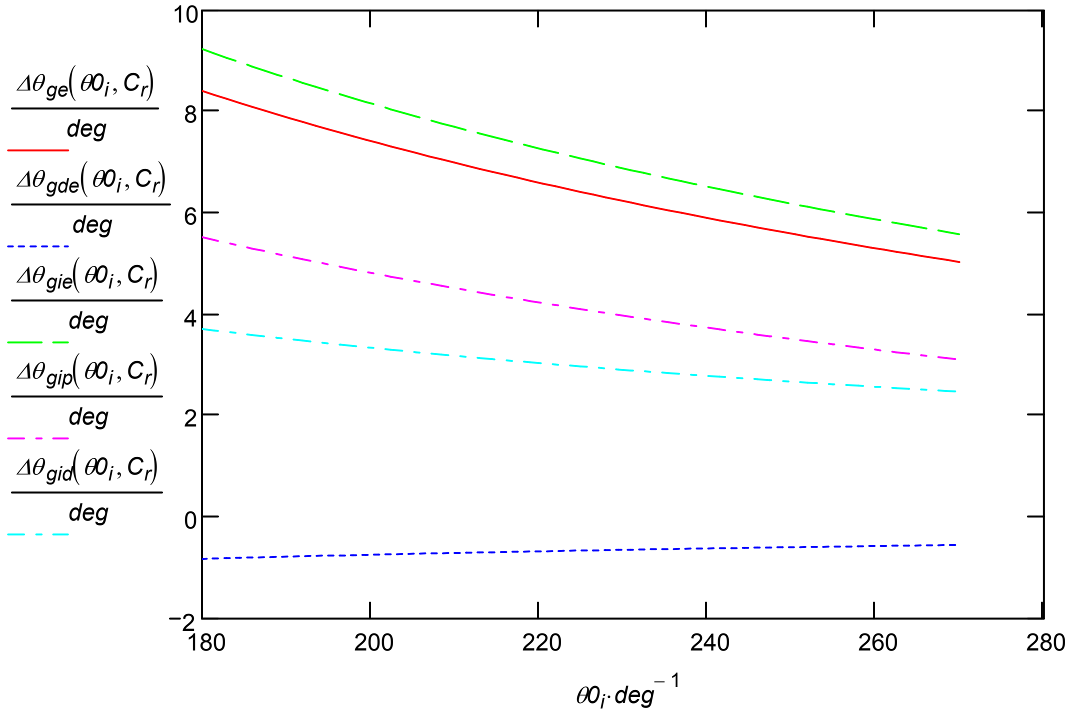
Impulsion partagée dent $\quad \Delta\theta_{gid}(270\cdot deg, C_r) = 2.476\,deg$ $\quad \Delta\theta_{gid}(180\cdot deg, C_r) = 3.715\,deg$

Impulsion totale d'entrée $\quad \Delta\theta_{gie}(270\cdot deg, C_r) = 5.585\,deg$ $\quad \Delta\theta_{gie}(180\cdot deg, C_r) = 9.239\,deg$

Fonctions d'entrée $\quad \Delta\theta_{ge}(\theta_0, C_r) := \Delta\theta_{gde}(\theta_0, C_r) + \Delta\theta_{gie}(\theta_0, C_r)$

$\Delta\theta_{ge}(270\cdot deg, C_r) = 5.034\,deg$ $\quad \Delta\theta_{ge}(180\cdot deg, C_r) = 8.413\,deg$

$n := 60$ $\quad \Delta\theta := \dfrac{270\cdot deg - 180\cdot deg}{n}$ $\quad i := 0 .. n$ $\quad \theta 0_i := 180\cdot deg + i\cdot\Delta\theta$



Bilan énergétique des fonctions d'entrée quasi-statique (glissement)

Fonctions d'entrée

$$\Delta E_{ge}(\theta_0, C_r) := J_b \cdot \omega_0^2 \cdot \theta_0 \cdot \Delta\theta_{ge}(\theta_0, C_r) \cdot \left(1 + \frac{\Delta\theta_{ge}(\theta_0, C_r)}{2 \cdot \theta_0}\right)$$

$$\Delta E_{ge}(\theta_0, C_r) = 2.062 \times 10^{-7}\ joule$$

Dégagement d'entrée

$$\Delta E_{gde}(\theta_0, C_r) := J_b \cdot \omega_0^2 \cdot \theta_0 \cdot \Delta\theta_{gde}(\theta_0, C_r) \cdot \left(1 + \frac{\Delta\theta_{gde}(\theta_0, C_r)}{2 \cdot \theta_0}\right)$$

$$\Delta E_{gde}(\theta_0, C_r) = -2.231 \times 10^{-8}\ joule \qquad \frac{\Delta E_{gde}(\theta_0, C_r)}{\Delta E_{ge}(\theta_0, C_r)} = -10.82\,\%$$

Impulsion partagée palette

$$\Delta E_{gip}(\theta_0, C_r) := J_b \cdot \omega_0^2 \cdot \theta_0 \cdot \Delta\theta_{gip}(\theta_0, C_r) \cdot \left(1 + \frac{\Delta\theta_{gip}(\theta_0, C_r)}{2 \cdot \theta_0}\right)$$

$$\Delta E_{gip}(\theta_0, C_r) = 1.269 \times 10^{-7}\ joule \qquad \frac{\Delta E_{gip}(\theta_0, C_r)}{\Delta E_{ge}(\theta_0, C_r)} = 61.521\,\%$$

Impulsion partagée dent

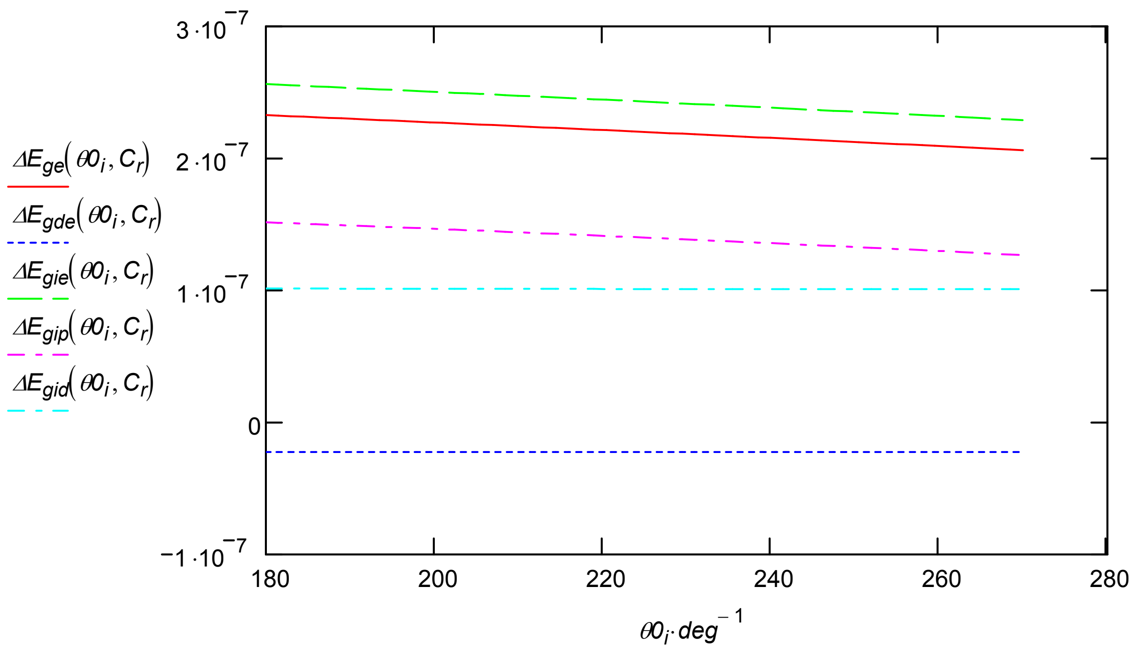
$$\Delta E_{gid}(\theta_0, C_r) := J_b \cdot \omega_0^2 \cdot \theta_0 \cdot \Delta\theta_{gid}(\theta_0, C_r) \cdot \left(1 + \frac{\Delta\theta_{gid}(\theta_0, C_r)}{2 \cdot \theta_0}\right)$$

$$\Delta E_{gid}(\theta_0, C_r) = 1.01 \times 10^{-7}\ joule \qquad \frac{\Delta E_{gid}(\theta_0, C_r)}{\Delta E_{ge}(\theta_0, C_r)} = 48.962\,\%$$

Impulsion totale d'entrée

$$\Delta E_{gie}(\theta_0, C_r) := J_b \cdot \omega_0^2 \cdot \theta_0 \cdot \Delta\theta_{gie}(\theta_0, C_r) \cdot \left(1 + \frac{\Delta\theta_{gie}(\theta_0, C_r)}{2 \cdot \theta_0}\right)$$

$$\Delta E_{gie}(\theta_0, C_r) = 2.29 \times 10^{-7}\ joule \qquad \frac{\Delta E_{gie}(\theta_0, C_r)}{\Delta E_{ge}(\theta_0, C_r)} = 111.044\,\%$$



Régime stationnaire du balancier

Energie dépensée par le balancier par alternance

$\Delta\theta_b(\theta_0) := 4\cdot f_b + 2\cdot\pi\cdot\eta_b\cdot\theta_0 + \frac{8}{3}\cdot\kappa_b\cdot\theta_0^{\;2}$ $\quad Q(\theta_0) := \pi\cdot\frac{\theta_0}{\Delta\theta_b(\theta_0)}$ $\quad Q(\theta_0) = 162.577$

$\Delta E_b(\theta_0) := J_b\cdot\omega_0^{\;2}\cdot\theta_0\cdot\Delta\theta_b(\theta_0)$ $\quad \Delta E_b(\theta_0) := J_b\cdot\omega_0^{\;2}\cdot\theta_0^{\;2}\cdot\frac{\pi}{Q(\theta_0)}$ $\quad \Delta E_b(\theta_0) = 2.118\times 10^{-7}\,joule$

Elongation maximum du balancier en fin d'alternance pour le couple C_r $\quad -\theta_0 = -270\,deg$

$\Delta\theta_b(\theta_0) = 5.217\,deg$ $\quad \Delta\theta_{ge}(\theta_0, C_r) - \Delta\theta_b(\theta_0) = -0.183\,deg$ $\quad \theta_0 + (\Delta\theta_{ge}(\theta_0, C_r) - \Delta\theta_b(\theta_0)) = 269.8\,deg$

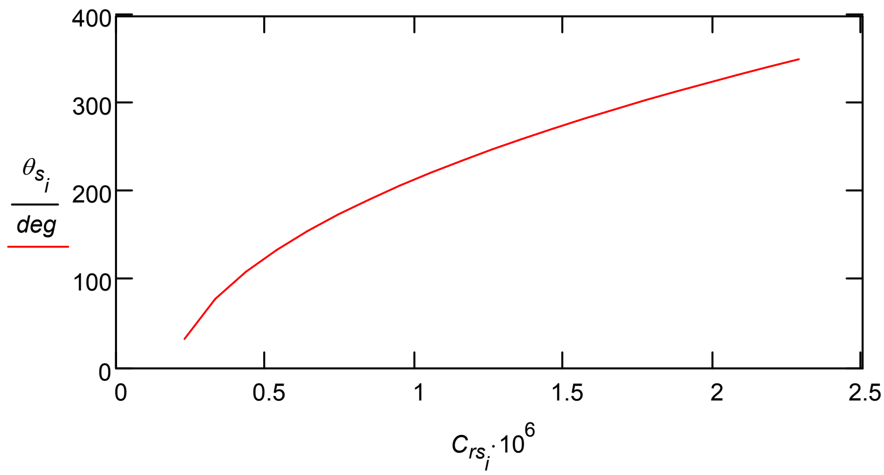
Amplitude stationnaire (échappement symétrique) $\quad \Delta E_{écht}(\theta_0, C_r) := 2\cdot\Delta E_{ge}(\theta_0, C_r)$

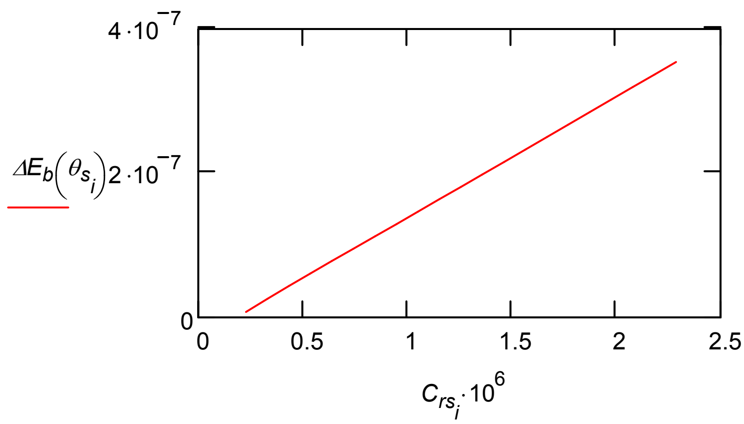
$n := 20$ $\quad i := 0..n$ $\quad \Delta C_{rs} := \frac{(1-0.1)C_r}{n}$ $\quad C_{rs_i} := C_r - i\cdot\Delta C_{rs}$ $\quad x := 100\cdot deg$

$\theta_{stat}(C) := racine\left(\Delta E_b(x)\cdot 10^7 - \Delta E_{écht}(x, C)\cdot 10^7, x\right)$ $\quad \theta_{s_i} := \theta_{stat}(C_{rs_i})$ $\quad \theta_{stat}(C_r) = 351.3\,deg$

$\theta_{stat}(0.1\cdot C_r) = 33.5\,deg$

Variation d'amplitude en fonction de la diminution de couple à la roue d'échappement





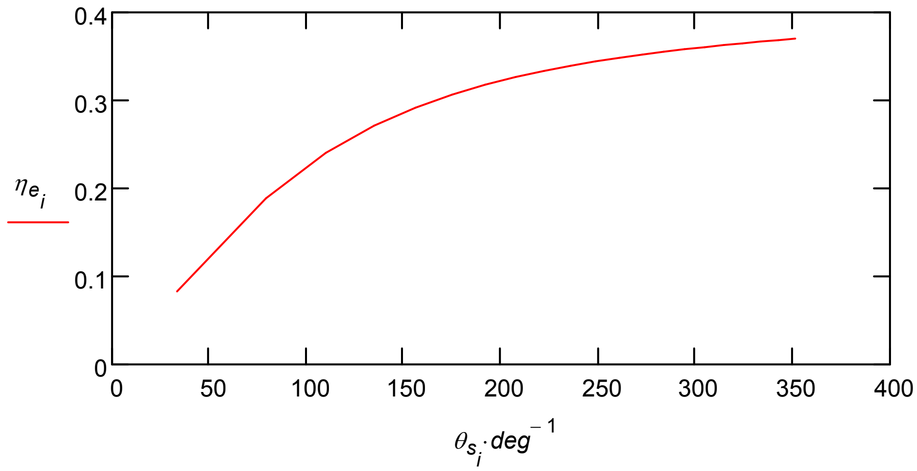
Rendement de l'échappement

Energie fournie par la roue d'échappement

$\Delta\alpha_{tot} := \dfrac{\pi}{z_e}$ $\qquad \Delta\alpha_{tot} = 12\,deg$ $\qquad \Delta E_r(C) := C \cdot \Delta\alpha_{tot}$

Rendement en fonction de l'amplitude stationnaire

$$\eta_{e_i} := \frac{\Delta E_b\left(\theta_{s_i}\right)}{2 \cdot \Delta E_r\left(C_{rs_i}\right)}$$



$\eta_{e_i} := J_b \cdot \omega_0^2 \cdot \dfrac{z_e}{2 \cdot C_{rs_i}} \cdot \dfrac{\left(\theta_{s_i}\right)^2}{Q\left(\theta_{s_i}\right)}$ $\qquad \eta_{e_0} = 0.37$

Rendement en fonction de la puissance à la roue d'échappement

$P_r\left(C_r\right) := C_r \cdot \dfrac{\omega_0}{z_e}$ $\qquad P_{rs_i} := C_{rs_i} \cdot \dfrac{\omega_0}{z_e}$ $\qquad \eta_{e_i} := \dfrac{J_b \cdot \omega_0^3}{2 \cdot P_{rs_i}} \cdot \dfrac{\left(\theta_{s_i}\right)^2}{Q\left(\theta_{s_i}\right)}$