

Q1

	Robot	Resumes	
Volume (mm ³)	400	25	OK
Durée (ms)	30	300	pas OK
Vitesse (ms ⁻¹)	1,2	0,2	OK

Q2 $\vec{OP} = l_1 \vec{x}_1 + l_2 \vec{x}_2 = (l_1 \cos \theta_1 + l_2 \cos \theta_2) \vec{x}_0 + (l_1 \sin \theta_1 + l_2 \sin \theta_2) \vec{y}_0$

$\vec{v}(PE\%) = -(l_1 \dot{\theta}_1 \sin \theta_1 + l_2 \dot{\theta}_2 \sin \theta_2) \vec{x}_0 + (l_1 \dot{\theta}_1 \cos \theta_1 + l_2 \dot{\theta}_2 \cos \theta_2) \vec{y}_0$

$\vec{v}(PE\%) = \begin{bmatrix} -l_1 \sin \theta_1 & -l_2 \sin \theta_2 \\ l_1 \cos \theta_1 & l_2 \cos \theta_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\theta}_1 \\ \dot{\theta}_2 \end{bmatrix}$

Q2 "Volume" de travail $\Rightarrow S = \frac{\pi (l_1 + l_2)^2}{4} = 6361 \text{ mm}^2$

En fait : $S = \frac{\pi (l_1 + l_2)^2}{4} + \left(l_1^2 - \frac{\pi l_1^2}{4} \right) + \left(l_2^2 - \frac{\pi l_2^2}{4} \right) = 5206 \text{ mm}^2$

Q4 $\|\vec{v}(PE\%)\| = \sqrt{(l_1 \dot{\theta}_1)^2 + (l_2 \dot{\theta}_2)^2 + 2 l_1 l_2 \dot{\theta}_1 \dot{\theta}_2 (\sin \theta_1 \sin \theta_2 + \cos \theta_1 \cos \theta_2)}$

Q5 Cas le + defavorable : $\omega_{m1} = 0$; $\omega_{m2} \neq 0$

$v_p = l_2 \dot{\theta}_2 = l_2 \frac{4}{49} \omega_{m2}$

Q6 $v_p = 0,045 \times \frac{4}{49} \times$

Q7 $\Delta x \approx l_2 \Delta \theta = l_2 \frac{4}{49} \Delta \theta_2 = 45 \times \frac{4}{49} \frac{2\pi}{500} = 0,056 \text{ mm} < 0,05$

Q8 $\Delta x = (l_1 + l_2) \Delta \theta = 90 \times \frac{4}{49} \times \frac{2\pi}{500} = 0,052 \text{ mm} > 0,05$

Q5 $E_c(\%) = \frac{1}{2} m_c (\dot{y}_c)^2$

②

Q10 $E_c(\frac{3}{0}) = \frac{1}{2} I_3 \dot{\theta}_3^2 + \frac{1}{2} m_3 (C_3 \dot{\theta}_3)^2 = \frac{1}{2} (I_3 + m_3 C_3^2) \dot{\theta}_3^2$

Q11 $E_c(\frac{F}{0}) = \frac{1}{2} (I_3 + m_3 C_3^2) \dot{\theta}_3^2 + \frac{1}{2} m_4 \dot{y}_4^2$

Q12 $P_{int} = 0$

Q13 $P(g_{01} \rightarrow 1) = -m_4 g \dot{y}_4 < 0$ quand $\dot{y}_4 > 0$

$P(g_{02} \rightarrow 3) = -m_3 g \vec{y}_0 \cdot C_3 \dot{\theta}_3 \vec{y}_3 = -m_3 g C_3 \dot{\theta}_3 C_3 \dot{\theta}_3 < 0$
quand $\dot{\theta}_3 > 0$

$P(cord \rightarrow \frac{F}{0}) = \{T_{cord \rightarrow 1}\} \otimes \{V_{\frac{F}{0}}\} = -F_T \dot{y}_4 < 0$ quand $\dot{y}_4 > 0$

$P(2 \rightarrow \frac{3}{0}) = \{T_{2 \rightarrow 3}\} \otimes \{V_{\frac{3}{0}}\} = F_c l_3 \dot{\theta}_3 > 0$ quand $\dot{\theta}_3 > 0$

$P(ent \rightarrow \frac{F}{0}) = F_c l_3 \dot{\theta}_3 - F_T \dot{y}_4 - m_3 g C_3 \dot{\theta}_3 C_3 \dot{\theta}_3 - m_4 g \dot{y}_4$

Q14 $y_4 = a_3 \tan \theta_3 \approx a_3 \theta_3$ et $F_T = K_{eq} y_4 = K_{eq} a_3 \theta_3$

$E_c(\frac{F}{0}) = \frac{1}{2} (I_3 + m_3 C_3^2 + a_3^2 m_4) \dot{\theta}_3^2 = \frac{1}{2} A_1 \dot{\theta}_3^2$

$P(ent \rightarrow \frac{F}{0}) = F_c l_3 \dot{\theta}_3 - K_{eq} a_3^2 \theta_3 \dot{\theta}_3 - m_3 g C_3 \dot{\theta}_3 - m_4 g a_3 \dot{\theta}_3$

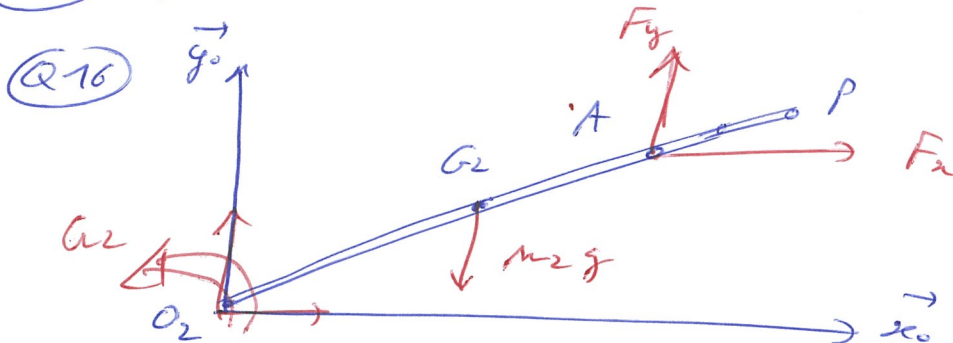
TEC $\Rightarrow A_1 \ddot{\theta}_3 = F_c l_3 - K_{eq} a_3^2 \theta_3 - m_3 g C_3 - m_4 g a_3$

$A_1 \ddot{\theta}_3 + K_{eq} a_3^2 \theta_3 = F_c l_3 - (m_3 C_3 + m_4 a_3) g$

$A_1 = I_3 + m_3 C_3^2 + m_4 a_3^2$; $A_2 = K_{eq} a_3^2$

$A_3 = l_3$; $A_4 = -(m_3 C_3 + m_4 a_3) g$

Q15 effort max $< 20 N$



$O_2 A_2 = a_2$

$O_2 G_2 = C_2$

$$3) \quad a_2 - m_2 g \cos \theta_2 + F_y a_2 \cos \theta_2 - F_x a_2 \sin \theta_2 = \vec{A}(\theta_2, \dot{\theta}_2, \ddot{\theta}_2)$$

$$Q17) \quad \vec{S}(a_2 \in \%) = I_2 \ddot{\theta}_2 \vec{f}_0$$

$$\vec{S}(\theta_2 \in \%) = \vec{S}(a_2 \in \%) + m_2 \underbrace{\vec{O}_2 \vec{O}_2}_{C_2 x_2} \wedge \vec{\omega}(\theta_2 \in \%) \quad \left| \vec{O}_2 \vec{O}_2 = \right.$$

$$\vec{O}_1 \vec{O}_2 = l_1 \vec{x}_1 + l_2 \vec{x}_2 ; \quad \vec{v}(\theta_2 \in \%) = l_1 \dot{\theta}_1 \vec{y}_1 + l_2 \dot{\theta}_2 \vec{y}_2$$

$$\vec{a}(\theta_2 \in \%) = l_1 \ddot{\theta}_1 \vec{y}_1 - l_1 \dot{\theta}_1^2 \vec{x}_1 + l_2 \ddot{\theta}_2 \vec{y}_2 - l_2 \dot{\theta}_2^2 \vec{x}_2$$

$$\vec{S}(a_2 \in \%) \cdot \vec{f}_0 = I_2 \ddot{\theta}_2 + \dots$$

$$\vec{O}_2 \vec{O}_2 = C_2 \vec{x}_2 = C_2 \cos(\theta_2 - \theta_1) \vec{x}_1 + C_2 \sin(\theta_2 - \theta_1) \vec{y}_1$$

$$\vec{S}(\theta_2 \in \%) \cdot \vec{f}_0 = I_2 \ddot{\theta}_2 + m_2 C_2 (l_1 \ddot{\theta}_1 \cos(\theta_2 - \theta_1) + l_1 \dot{\theta}_1^2 \sin(\theta_2 - \theta_1)) + m_2 C_2 \ddot{\theta}_2$$

TTD $\theta_2 \Rightarrow$

$$I_2 \ddot{\theta}_2 + m_2 C_2 l_1 (\ddot{\theta}_1 \cos(\theta_2 - \theta_1) + \dot{\theta}_1^2 \sin(\theta_2 - \theta_1)) + m_2 C_2 \ddot{\theta}_2 = a_2 - m_2 g \cos \theta_2 + F_y a_2 \cos \theta_2 - F_x a_2 \sin \theta_2$$

Q15...

Q18) On isole (1+2 + poulies + courroie), TTD θ_1

Q20) $\theta_1 = \theta_2 = 0$, couple statique ($\ddot{\theta} = \dot{\theta} = 0$)

$$\Rightarrow a_1 = m_1 g + m_2 l_1 g - l_1 F_y$$

$$Q21) a_1 = 0,515 \text{ Nm} ; C_{m1} = \frac{L}{L_3} a_1 = 0,075 \text{ Nm}$$

Donnée's moteur : $C_{m\text{moteur}} = K_e \times I = 0,115 \times 0,915 = 0,11 \text{ Nm}$

$$Q22) R_2 = \frac{L}{45}$$

$$Q23) E(\frac{E}{\%}) = \frac{1}{2} (I_{p2} + I_{p1} + I_2 + m_2 C_2^2) \dot{\theta}_2^2 + \frac{1}{2} (I_{\text{mot}} + I_{\text{red}}) \dot{\theta}_m^2$$

$$E(\frac{E}{\%}) = \frac{1}{2} \left[I_{\text{mot}} + I_{\text{red}} + (I_{p2} + I_{p1} + I_2 + m_2 C_2^2) R_2^2 \right] \dot{\theta}_m^2$$

$$④ \quad E(\%) = \frac{1}{2} J_{eq} \dot{\theta}_m^2 ; \quad J_{eq} = 81,55 \text{ g.cm}^2$$

$$②24 \quad K_{cod} = \frac{500}{2\pi} = \frac{250}{\pi} \text{ cm/rad}$$

$$②25 \quad K_{conv} = \frac{K_{cod}}{R_2} = \frac{250}{\pi} \cdot \frac{49}{5} = 975 \text{ cm/rad}$$

$$②26 \quad \Gamma(\tau) = \frac{\frac{1}{R+L\tau}}{1 + \frac{1}{R+L\tau} \times \frac{K_e K_c}{J\tau}} = \dots = \frac{J\tau}{K_e K_c \left[\frac{LJ}{K_e K_c} \tau^2 + \frac{RJ}{K_e K_c} \tau + 1 \right]}$$

$$②27 \quad \Gamma_{asy}(\tau) = \frac{1}{R+L\tau}$$

②28 Bode de phase', on veut $M_e = 6 \text{ dB}$

Pour $\varphi = -180$ on a $M_{dB} = 16 \text{ dB}$

$$\text{Il faut } 20 \log K_{pl} = 16 + 6 = 22 \Rightarrow K_{pl} = 10^{\frac{22}{20}} = 0,08$$

②29 Action intégrale \Rightarrow erreur statique résiduelle nulle

$$②30 \quad C(\tau) = \dots = \frac{0,056 \left(1 + \frac{7}{5}\tau\right)}{\tau}$$

Cassure pour $\omega = \frac{5}{7} = 0,57 \text{ rad.}$

$$2^e \text{ asymptote : } M_{dB} = 20 \log \left(0,056 \times \frac{7}{5}\right) = -22 \text{ dB}$$

\Rightarrow Pente -20 puis 0 ; $\varphi -90$ puis 0 .

②31 L'action intégrale n'a pas d'influence sur la stabilité : $\omega = 0,57$ est loin de la zone de mesure des marges de stabilité.

②32 Performances boucle de courant.

$$t_{5\%} = 18 \text{ ms} < 30 \text{ ms}$$

$$D\% = 100 \times \frac{(115 - 107,5)}{107,5} = 7\% < 25\%$$

5) Q33 En poursuite: 2 intégrations

⇒ erreur nulle avec entrées échelon et rampe

En régulation: 1 intégration en amont

⇒ erreur nulle avec perturbation de type échelon

Q34 Bode FTBO donnée: $\Gamma_G = 6 \text{ dB}$ et $\Gamma_e = 45^\circ$

Q35 I et U très élevés!

L'alimentation en tension est forcément limitée!

Q36 Performances de la réponse temporelle de position

Précis avec les entrées échelon et rampe OK

$t_{sx} = 0,05 \text{ s} > 0,03 \text{ s}$ pas OK

$D_x \approx 15\% < 30\%$ OK

Q37 PB: manque de rapidité!