

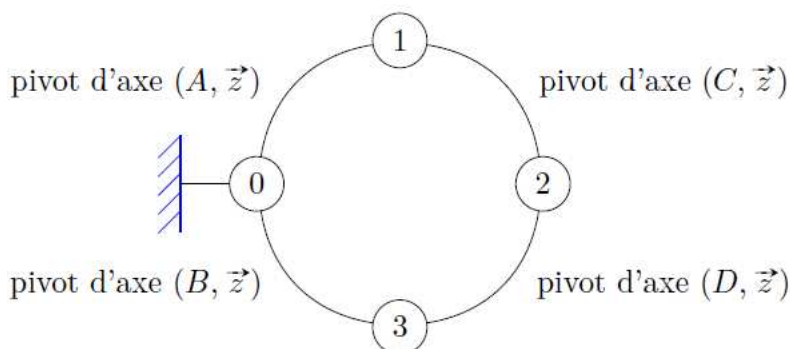
Correction

Pantographe de TGV Duplex

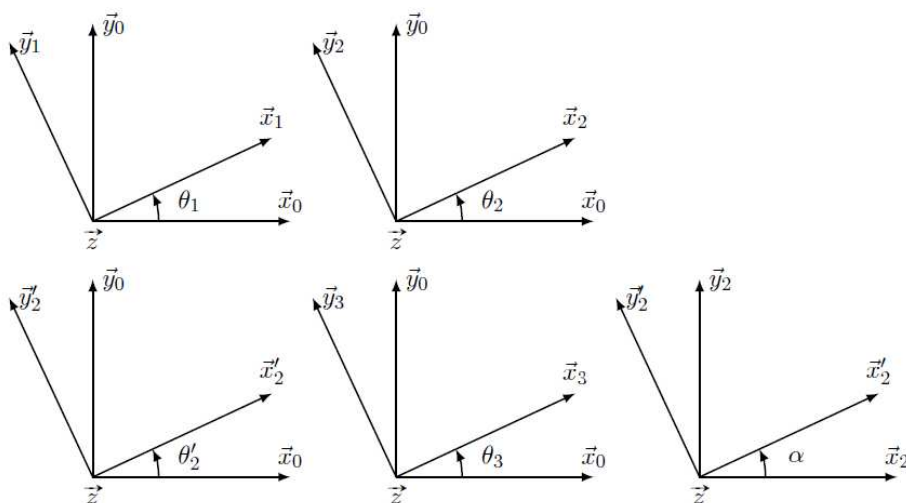
(Adapté EPITA 2014)

R1. Le système possède un plan de symétrie vertical (ici le plan $(A, \vec{x}_0, \vec{y}_0)$). L'ensemble de ses mouvements (rotations autour de $\vec{z}$) est dans ce plan. On peut donc le modéliser par un système plan.

R2.



R3.



R4. La hauteur du pantographe est définie par $\vec{AE} \cdot \vec{y}_0 = l$. Or, $\vec{AE} = \vec{AC} + \vec{CE} = a \cdot \vec{x}_1 + c \cdot \vec{x}_2$. Soit $l = a \sin \theta_1 + c \sin \theta_2$.

R5. $(\vec{x}_0, \vec{x}'_2) = (\vec{x}_0, \vec{x}_2) + (\vec{x}_2, \vec{x}'_2)$ soit $\theta'_2 = \theta_2 + \alpha$.

R6. On réalise la fermeture vectorielle $\vec{AC} = \vec{AB} + \vec{BD} + \vec{DC}$.

On obtient $a \cdot \vec{x}_1 = e \cdot \vec{x}_0 - h \cdot \vec{y}_0 + b \cdot \vec{x}_3 + d \cdot \vec{x}'_2$

En projetant on obtient :

sur $\vec{x}_0$: $a \cos \theta_1 = e + b \cos \theta_3 + d \cos \theta'_2$;

sur $\vec{y}_0$: $a \sin \theta_1 = -h + b \sin \theta_3 + d \sin \theta'_2$

En éliminant le paramètre θ_3 , on trouve $b^2 = (a \cos \theta_1 - d \cos \theta'_2 - e)^2 + (a \sin \theta_1 - d \sin \theta'_2 + h)^2$.

On obtient donc $b^2 = (a \cos \theta_1 - d \cos (\theta_2 + \alpha) - e)^2 + (a \sin \theta_1 - d \sin (\theta_2 + \alpha) + h)^2$.

R7. L'exigence 122 donne la hauteur entre la motrice et la caténaire (1,08m) que le pantographe doit atteindre en moins de 20° (exigence 111). Pour $\theta_1 > 12^\circ$, la hauteur atteinte est supérieur à 1,08 mètres. Les deux exigences sont vérifiées.

R8.

Hyp : On se place dans les conditions d'Heaviside. On passe dans le domaine de Laplace l'équation (1) :

$$(mp^2 + fp + k).X(p) = (k + fp).Y(p) + F_m(p) \rightarrow X(p) = \frac{(k + fp).Y(p) + F_m(p)}{mp^2 + fp + k}$$

$$\text{A partir du schéma bloc : } X(p) = B(p) \left[\underbrace{(F_c(p) - F(p)) \cdot C(p)}_{F_m(p)} + Y(p) \cdot A(p) \right]$$

D'où :

$$A(p) = k \left(1 + \frac{f}{k} p \right) \text{ et } B(p) = \frac{1/k}{1 + \frac{f}{k} p + \frac{m}{k} p^2}$$

R9.

Directement à partir du schéma bloc on peut écrire :

$$F(p) = ((F_c(p) - F(p))C + AY(p))AB - AY(p) \text{ d'où } F(p) = \frac{ABC}{1+ABC} F_c(p) + \frac{A(AB-1)}{1+ABC} Y(p)$$

$$H_1(p) = \frac{ABC}{1+ABC}$$

$$H_2(p) = \frac{A(AB-1)}{1+ABC}$$

$$H_1(p) = \frac{C(p) \cdot \left(1 + \frac{f}{k} p \right)}{1 + \frac{f}{k} p + \frac{m}{k} p^2 + \left(1 + \frac{f}{k} p \right) \cdot C(p)}$$

$$H_2(p) = \frac{-mp^2 \left(\frac{f}{k} p + 1 \right)}{\left(1 + \frac{f}{k} p + \frac{m}{k} p^2 \right) + \left(\frac{f}{k} p + 1 \right) \cdot C(p)}$$

R10.

$$\text{On a } C(p) = K_c \rightarrow H_1(p) = \frac{K_c \cdot \left(1 + \frac{f}{k} p \right)}{1 + \frac{f}{k} p + \frac{m}{k} p^2 + \left(1 + \frac{f}{k} p \right) \cdot K_c} \text{ d'où : } H_1(p) = \frac{\frac{K_c}{1+K_c} \cdot \left(1 + \frac{f}{k} p \right)}{1 + \frac{f}{k} p + \frac{m}{k(1+K_c)} p^2}$$

Avec $Y(p) = 0$, on peut donc écrire que l'erreur statique $\varepsilon_s = \lim_{t \rightarrow +\infty} (f_c(t) - f(t)) = \lim_{p \rightarrow 0} p(F_c(p) - F(p))$ grâce au théorème de la valeur finale

$$\varepsilon_s = \lim_{p \rightarrow 0} p \frac{F_{c0}}{p} (1 - H_1(p)) \Rightarrow \varepsilon_s = \frac{F_{c0}}{1 + K_c}$$

Cette erreur dépend de K_c : l'asservissement de l'effort F sera précis pour des valeur de K_c très grande.

R11.

D'après l'exigence 12111 l'erreur doit être de +/- 5% soit pour 100N une erreur de +/- 5N donc

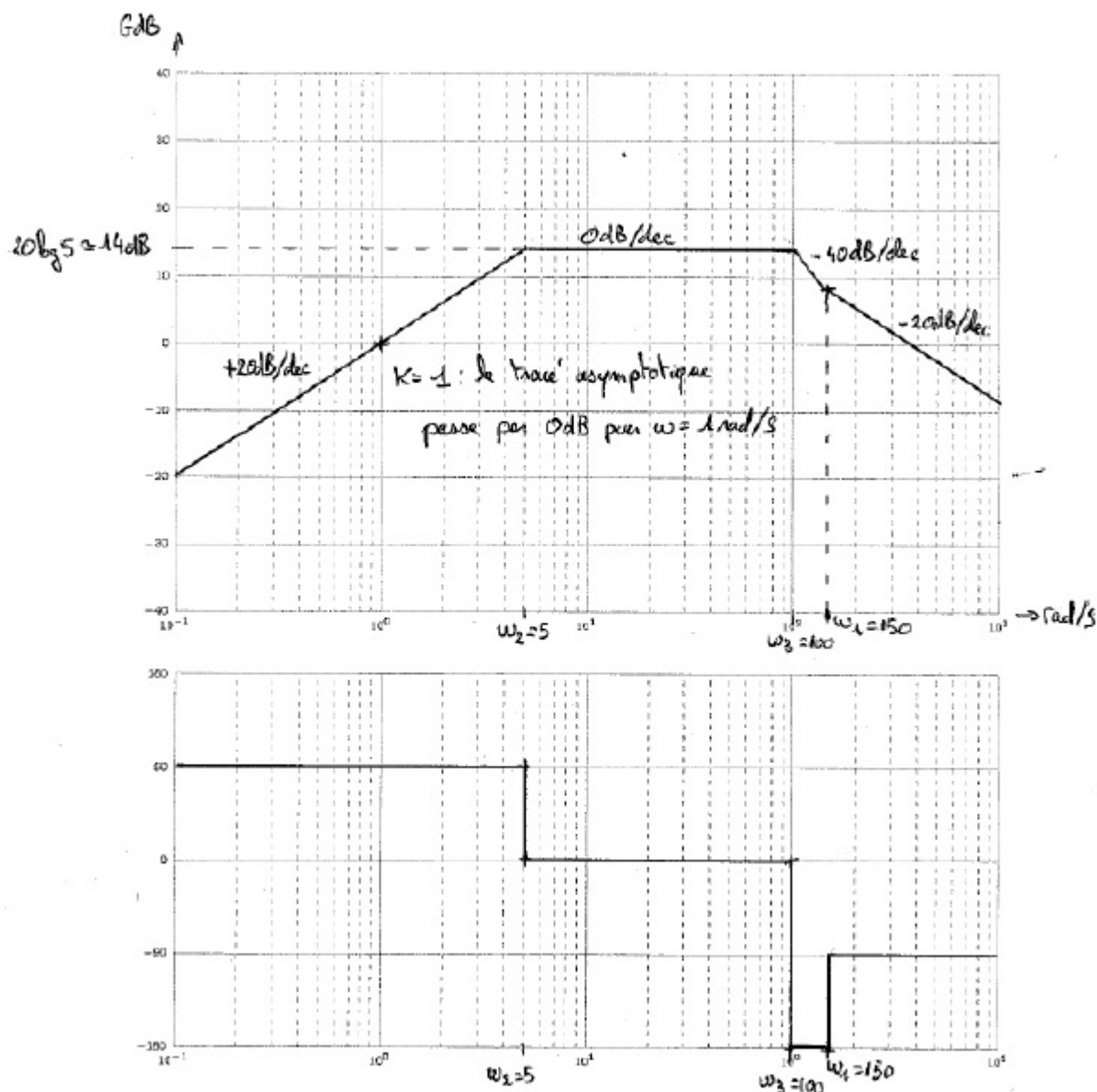
$$\varepsilon_s = \frac{F_{c0}}{1 + K_c} \text{ soit } K_c \geq 19$$

R12.

A une vitesse $v(t)$ (supposée constante), le train passe à coté d'un poteau tous les $\frac{\Delta}{v(t)}$ (période temporelle du

signal sinusoïdale). Ainsi la pulsation est de $\omega = 2\pi \frac{v(t)}{\Delta}$. Avec $v(t) = 320 \text{ km/h} = 88,88 \text{ m/s}$ on obtient

$$\omega = 11,16 \text{ rad/s}.$$

R13.**R14.**

Le gain maximal lu sur les asymptotes est de 14 dB ($20 \log |5|$).

R15.

$20 \log \left(\frac{5}{0,1} \right) = 34 \text{ dB}$ pour une pulsation $\omega = 11,16 \text{ rad/s}$ donc, pour atteindre un gain maximum de 34 dB, il

faut donc ajouter 20 dB $\rightarrow 20 \log(K) = 20$ soit $K = 10$. Ce qui permet de dire que le gain choisit est plus petit que celui effectué lors de l'étude temporelle la valeur de T_i a aussi un rôle dans la précision du système.

R16. La tension des caténaires est liée à l'amplitude $y(t)$. Ainsi en augmentant la tension, l'amplitude diminue. Avec la vitesse, la pulsation augmente et dans ce cas on se rapproche de la fréquence de résonance (pour 574,8 km/h on a une pulsation proche 20 rad/s). Ainsi pour limiter cette augmentation la SNCF a procédé à une augmentation de la tension des caténaires.