

TD 7

Système de pendulation pour TGV

I) Présentation du système

Le TGV est un dispositif ferroviaire de transport de passagers à haute vitesse : sa vitesse d'exploitation est d'environ 320 km/h. Pour assurer le confort du passager lorsque le train aborde une courbe, il devient nécessaire avec ce type de transport de limiter la sensation physique due à l'accélération centripète. L'effet de la courbe sur le passager peut être compensé par le dévers de la voie qui rehausse le rail extérieur relativement au rail intérieur.



Sur les voies dédiées spécifiquement aux TGV, les dévers sont suffisants pour assurer le confort du passager. Ils correspondent aux rayons de courbe pour la vitesse de circulation maximale. Par contre, le réseau classique admet un dévers insuffisant pour effacer les effets ressentis par le voyageur dans un virage abordé à grande vitesse. Pour compenser cette insuffisance, en plus du dévers de voie, il devient nécessaire d'incliner la caisse de la voiture transportant le passager : on parle de pendulation. Ce système est indispensable pour permettre l'accès des TGV au réseau classique.

L'anneau d'intercirculation est suspendu sur une traverse pendulaire (cf. figure 1 (a)). Celle-ci est suspendue au bogie grâce à deux biellettes L1 et L2 (cf. figure 1 (b)), dont le mouvement de rotation en roulis est libre afin de ne pas empêcher son inclinaison. Un vérin hydraulique, placé entre le châssis du bogie et la traverse pendulaire, permet de régler l'inclinaison des voitures, paramétrée par l'angle α_2 , et d'augmenter ainsi le dévers.

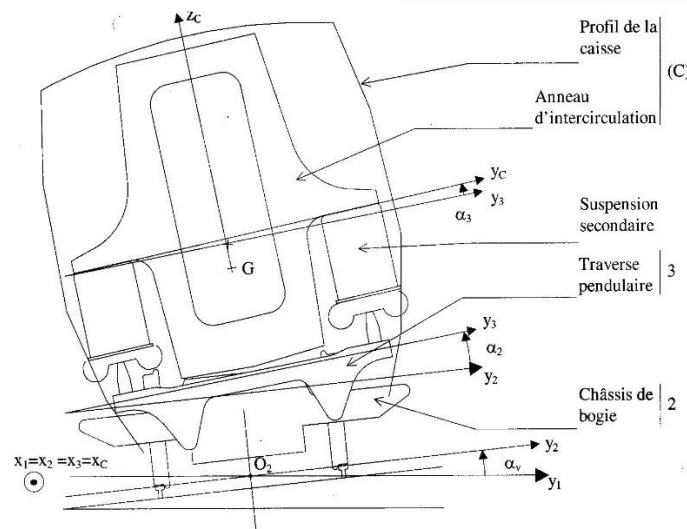
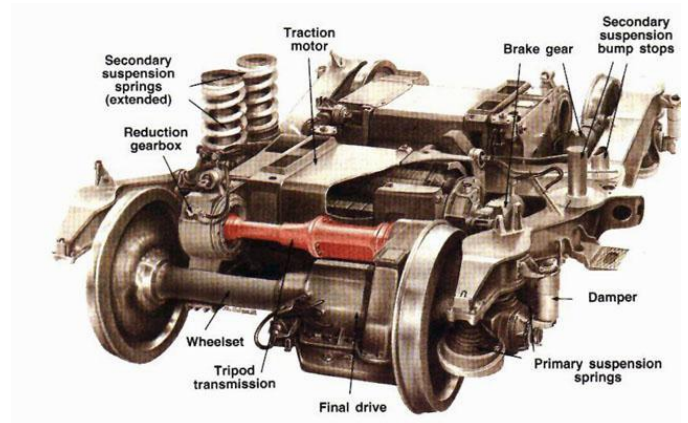


Figure 1 : Schématisation et paramétrage du système de pendulation

II) Principe de fonctionnement

Les principaux éléments constitutifs du système sont les suivants :

- la **servo-valve**, qui est un organe commandé par un courant $i(t)$ et permettant d'obtenir un débit d'huile $q(t)$ proportionnel au courant d'alimentation. Ce débit $q(t)$ correspond à l'alimentation d'un vérin double effet (actionneur du système) ;
- le **capteur de position**, qui permet de connaître la position y de la tige du vérin par rapport au corps de vérin. Il délivre une tension $u_r(t)$;
- le convertisseur de gain 50 V/m qui fournit une tension $u_e(t)$ à partir de la consigne de position $y_c(t)$;
- le **correcteur** de gain K' , qui permet d'élaborer une tension de commande $u(t)$ à partir de l'écart en tension $u_e(t) - u_r(t)$ qui, via un **convertisseur** tension-courant, génère le courant $i(t)$ qui alimente la servo-valve ;
- le **vérin**, qui développe une force $F(t)$ qui va permettre de mettre en rotation la charge C.

On notera :

- y la position de la tige du vérin ;
- α_2 la position angulaire du solide C.

III) Modélisation globale du système

L'étude de l'asservissement en position angulaire du solide C revient donc à l'étude de l'asservissement en position de la tige de vérin.

Question 1 : Donner le schéma-blocs fonctionnel permettant de décrire le dispositif d'asservissement de la position y de la tige de vérin à la position de consigne y_c .

III.1) Modélisation du vérin et de sa charge

On cherche maintenant à modéliser l'ensemble composé de la charge C et du vérin. Pour cela, on connaît les équations régissant le comportement hydraulique du vérin, et les équations mécaniques relatives au mouvement de la charge.

On a donc, pour le vérin :

- une relation entre le débit $q(t)$ entrant dans le vérin (délivré par la servo-valve) et la pression existant dans le vérin notée $\sigma(t)$:

$$q(t) = 2S \frac{dy(t)}{dt} + \frac{V_0}{b} \frac{d\sigma(t)}{dt}$$

avec :

S : section du vérin ;

σ : pression utile dans le vérin ;

V_0 : demi-volume du vérin ;

b : compressibilité de l'huile ;

y : position de la tige du vérin.

- une relation entre le mouvement α_2 de la caisse (solide C) et la force $F(t)$ exercée par le vérin :

$$J \frac{d^2\alpha_2(t)}{dt^2} = RF(t) - \mu\alpha_2(t)$$

avec :

- J le moment d'inertie par rapport à l'axe (l, \vec{x}) ;
- $-\mu\alpha_2(t)$ le moment de rappel appliqué à C ;
- $F(t)$ l'effort développé par le vérin ($F(t) = \sigma(t)S$).

L'approximation des petits angles, lors du mouvement de C, nous donne $\alpha_2 \simeq \frac{y}{R}$

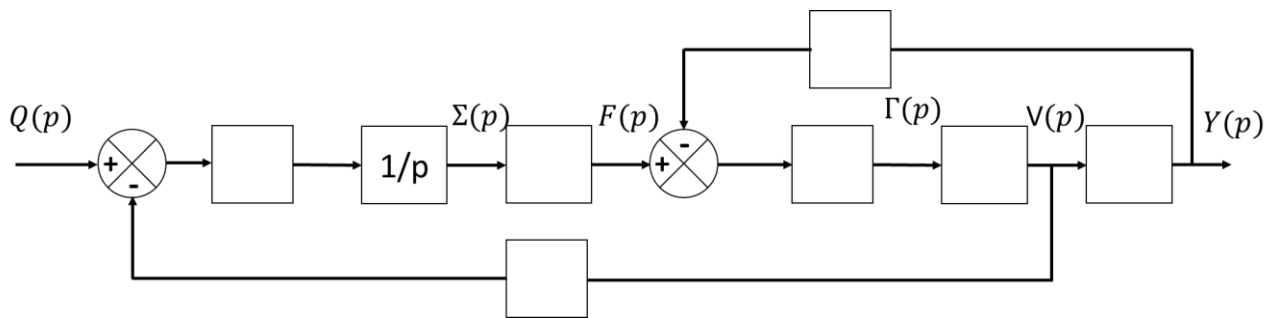
On note :

- $V(p)$ la transformée de Laplace de $v(t)$;
- $\Gamma(p)$ la transformée de Laplace de $\gamma(t)$;
- $Q(p)$ la transformée de Laplace de $q(t)$;
- $\Sigma(p)$ la transformée de Laplace de $\sigma(t)$.
- $Y(p)$ la transformée de Laplace de $y(t)$.
- $A(p)$ la transformée de Laplace de $\alpha_2(t)$.

Question 2 : Déterminer la transformée de Laplace des quatre équations précédentes. On considère les conditions initiales nulles.

Question 3 : Compléter le schéma-blocs ci-après représentant les équations de comportement du vérin. Ce schéma admet $Q(p)$ comme entrée et $Y(p)$ comme sortie ; préciser la transmittance (fonction de transfert) de chaque bloc.

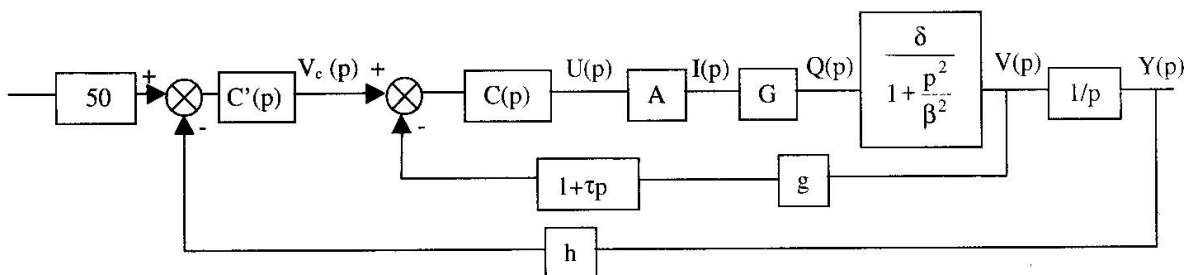
On notera $k = \frac{\mu}{R^2}$ et $M = \frac{J}{R^2}$.



Question 4 : Déterminer la fonction de transfert entre la position de la tige du vérin et le débit d'huile entrant dans le vérin, $H_1(p) = \frac{Y(p)}{Q(p)}$, en fonction de b , k , M , S et V_0 .

III.2) Amélioration des performances

Afin d'améliorer les performances du système, on envisage une architecture composée d'une boucle de vitesse et d'une boucle de position. Le système peut alors se ramener au schéma-blocs suivant :



Question 5 : On s'intéresse à la correction de la boucle de vitesse. Le schéma ci-dessus montre que cette correction est réalisée par l'ensemble constitué d'un correcteur proportionnel $C(p) = K$ et d'un terme $1 + \tau p$ placé en aval du capteur de vitesse. Déterminer la fonction de transfert $H_2(p) = \frac{v(p)}{v_c(p)}$.

Question 6 : Écrire $H_2(p)$ sous la forme canonique d'un système du second ordre.

Les valeurs numériques suivantes seront utilisées pour répondre à la suite de l'étude :

$$AG = \frac{1}{100} m^3 \cdot s^{-1} \cdot V^{-1} \quad g = 10 V \cdot m^{-1} \cdot s^{-1} \quad \delta = 2,1 m^{-2} \quad \beta = 77 rad \cdot s^{-1}$$

Question 7 : En utilisant les abaques donnés en annexe, déterminer numériquement K et τ pour respecter un dépassement de 10% par rapport au régime permanent et un temps de réponse à 5% de 0,017 s dans la boucle de vitesse. Les abaques correspondent à un système du second ordre décrit par sa fonction de transfert :

$$H(p) = \frac{K}{1 + \frac{2z}{\omega_0} p + \frac{p^2}{\omega_0^2}}$$

