

## TD1 : Contrôle de vitesse d'un Tramway (CNC2019)

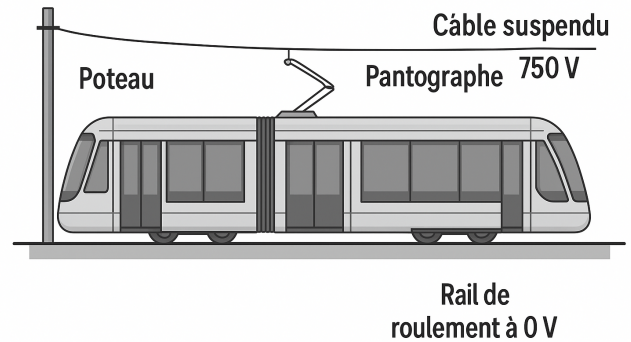
### I. Présentation

Le tramway est un moyen de transport collectif urbain ou interurbain circulant sur des rails en acier posés sur des voies ferrées planes. Il peut être installé en site propre ou intégré à la chaussée grâce à des rails à gorge encastrés dans la voirie. Chaque rame est équipée de douze moteurs asynchrones entraînant douze roues motrices réparties sur trois bogies. L'alimentation des moteurs s'effectue via des onduleurs de tension, à partir d'un réseau continu de **750 V**. Le courant est transmis par un pantographe relié à un câble aérien, tandis que le retour du courant s'effectue par les rails mis à la masse (0 V).



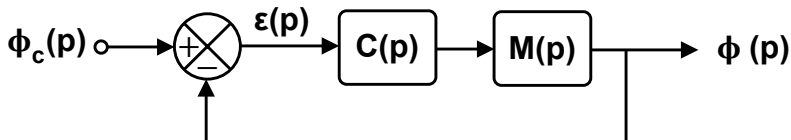
Chaque moteur de traction est alimenté individuellement par un onduleur de tension, à partir du réseau continu de **750 V**. La vitesse de synchronisme — et donc la vitesse de rotation d'un moteur asynchrone — dépend directement de la fréquence du courant d'alimentation.

L'onduleur autonome, en tant que convertisseur statique, permet ainsi de faire varier cette fréquence et, par conséquent, de réguler la vitesse du moteur.



### II. Contrôle de la vitesse des machines asynchrone du Tramway

Le but de cette étude est de réguler la vitesse des divers moteurs asynchrones en utilisant la commande vectorielle. Le principe consiste à décomposer le courant statorique en deux composantes : l'une dédiée au contrôle du flux, l'autre à la production du couple. Cette approche rend le comportement dynamique de la machine comparable à celui d'une machine à courant continu (MCC). Elle est aujourd'hui connue sous le nom de commande vectorielle. La figure suivante illustre Le schéma bloc adopté pour la commande du flux.



On donne :

$$M(p) = \frac{A}{(1 + \tau_1 p)(1 + \tau_2 p)}$$

- **Question 1 :** En considérant un correcteur proportionnel  $C(p) = K$ , déterminer la classe de la fonction de transfert en boucle ouverte  $H_{BO}(p)$ . Calculer ensuite l'erreur statique  $\varepsilon_s$  pour un échelon de flux  $\Phi_{co}$ , puis conclure sur la valeur du gain  $K$  nécessaire pour que cette erreur soit nulle.

Désormais, on choisit d'utiliser un **correcteur proportionnel-intégral (PI)**, dont la fonction de transfert s'exprime sous la forme :  $C(p) = K \cdot \left(1 + \frac{1}{T_i p}\right)$

- **Question 2 :** Déterminer l'expression de la fonction de transfert en boucle ouverte  $H_{BO}(p)$  du système lorsqu'il est associé à ce correcteur (proportionnel-intégral PI) précédemment défini.

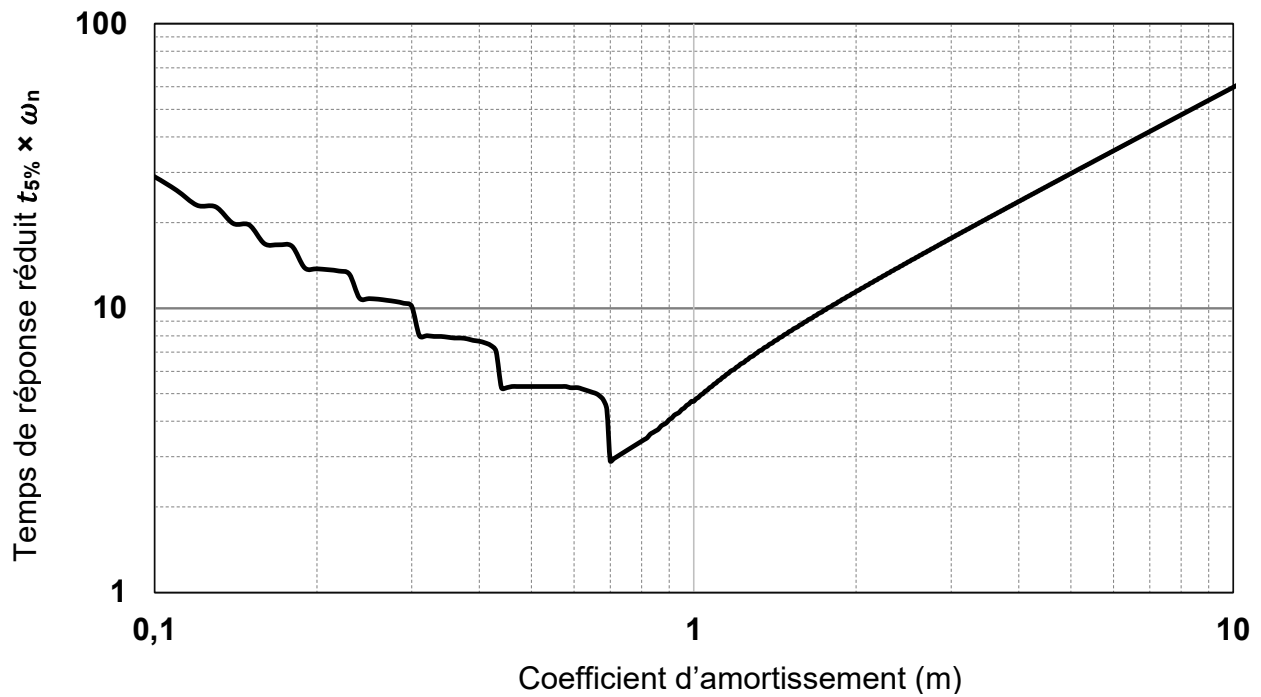
- **Question 3** : Calculer la valeur de l'erreur statique  $\epsilon_s$  du système, puis **justifier** le résultat obtenu en fonction du type et de la structure du système.
- **Question 4** : Donner la condition de choix de la constante de temps  $T_i$  du correcteur par rapport à la pulsation unitaire  $\omega_1$  du système non corrigé, de manière à ne pas dégrader la stabilité du système corrigé.

Nous souhaitons obtenir en **boucle fermée** une réponse dynamique de **type second ordre**. Pour la suite de l'étude, on adoptera les valeurs suivantes : **A = 2,  $\tau_1 = 3$  s,  $\tau_2 = 0,75$  s.**

- **Question A** : Donner la valeur de  $T_i$  qui permet d'optimiser le temps de réponse (la technique de la compensation du pôle dominant).
- **Question B** : En déduire la nouvelle expression  $H_{BO1}(p)$ .
- **Question C** : Déterminer la marge de gain  $M_G$ , et donner la valeur de  $K$  pour avoir une marge de phase  $M_\phi = 40^\circ$ .
- **Question 5** : Déterminer l'expression de la fonction de transfert en boucle fermée  $F(p)$  du système. Mettre cette fonction sous la forme canonique d'un système du second ordre :  $F(p) = \frac{G_F}{1 + \frac{2m}{\omega_n} p + \frac{1}{\omega_n^2} p^2}$
- **Question 6** : Donner les expressions du gain  $G_F$ , de la pulsation propre  $\omega_n$  et le coefficient d'amortissement  $m$ , déduire leurs valeurs numériques.
- **Question 7** : À partir des abaques de l'Annexe, déterminer la valeur du temps de réponse  $t_{r5\%}$  du système bouclé et la valeur du premier dépassement  $D_1\%$ .

## Annexe : Abaques d'un système de 2<sup>ème</sup> ordre

### ❖ Temps de réponse réduit à 5%



### ❖ Dépassement indiciel

