

Ascenseur de la tour Eiffel

PRESENTATION

Le système étudié est l'ascenseur électrique du pilier nord de la tour Eiffel. Il offre la plus grande capacité avec cent dix personnes qui sont réparties dans deux cabines supportées par un chariot tracteur.

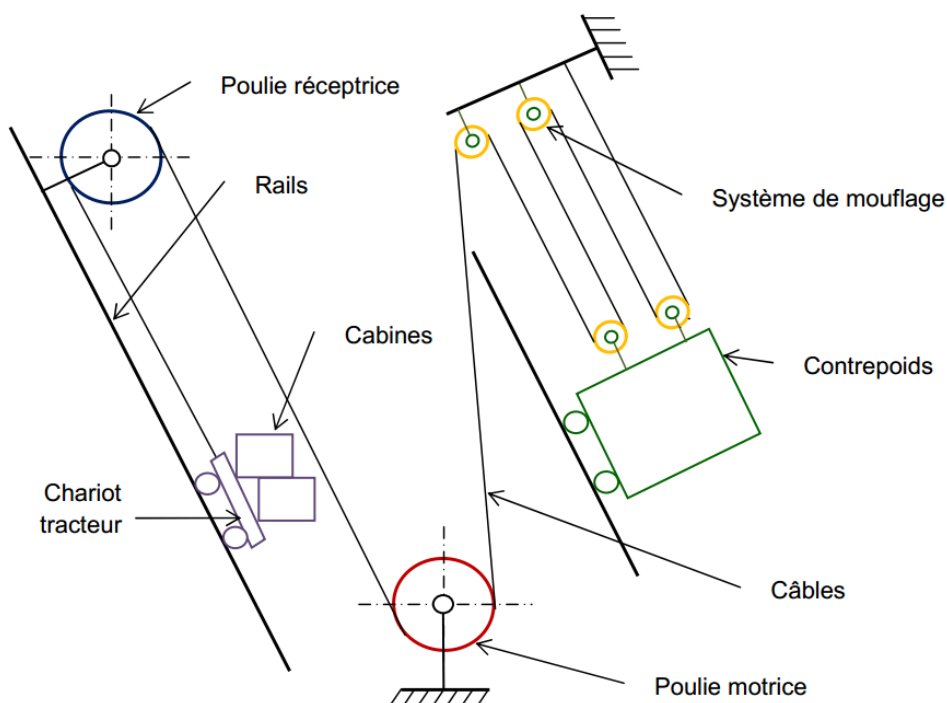


STRUCTURE MECANIQUE

L'ascenseur du pilier Nord est constitué :

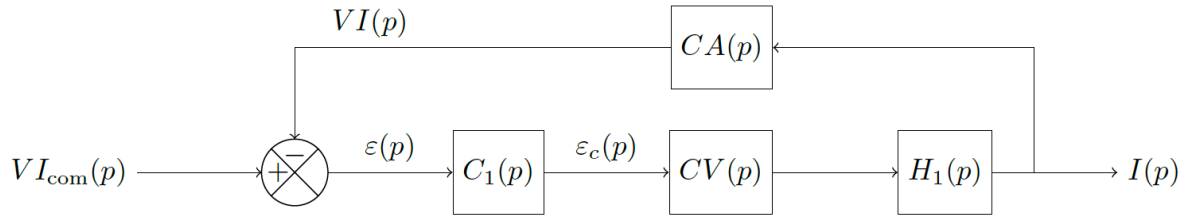
- d'un chariot tracteur sur lequel sont fixées les deux cabines, de masse totale M_c , destinées à transporter les visiteurs de masse M_p ;
- de deux ensembles de deux câbles en acier situés de part et d'autre du chariot ;
- de deux poulies réceptrices de moment d'inertie J_p chacune, et de rayon R_p ;
- de deux poulies motrices qui entraînent les câbles, avec les mêmes moments d'inertie J_p et le même rayon R_p ;
- d'un contrepoids de masse M_{cp} qui évolue entre le rez-de-chaussée et le premier étage ;
- d'un système de mouflage qui réduit par quatre la distance parcourue par le contrepoids ;
- d'une machine à courant continu qui assure l'entraînement des poulies motrices à la vitesse ω_{red} en sortie de réducteur ;
- d'un réducteur différentiel, de type roue et vis sans fin, de rapport de transmission r .

On note α l'angle d'inclinaison des rampes d'ascenseur et de contrepoids.



ASSERVISSEMENT EN COURANT

Le moteur à courant continu est asservi en courant, selon le schéma-blocs suivant :



$C_1(p)$: correcteur

$CV(p)$: convertisseur statique

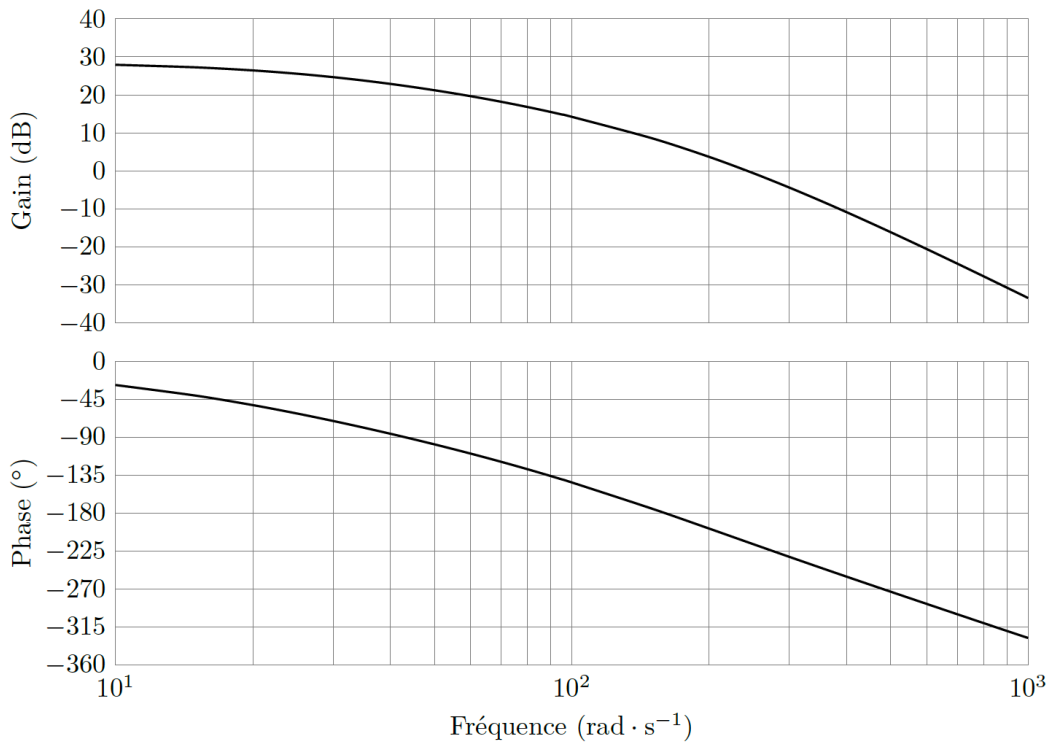
$H_1(p)$: induit de la machine à courant continu

$CA(p)$: sonde à effet Hall et filtre

$VI_{com}(p)$ et $VI(p)$ sont respectivement la tension image de la consigne de courant, et la tension image du courant mesuré dans le système grâce à une sonde à effet Hall munie d'un filtre.

Le correcteur utilisé $C_1(p)$ est un proportionnel intégral et il est dimensionné de manière à obtenir une marge de phase de 45° .

On donne le diagramme de Bode de la FTBO pour $C_1(p) = 1$.



TRAVAIL DEMANDÉ

Pour les 2 objectifs suivants, on vous demande de :

1. présenter une démarche permettant de résoudre le problème ;
2. en suivant les indications de l'examineur, développer tout ou partie de votre démarche.

Objectif 1

Proposer une démarche pour déterminer le couple en sortie de réducteur, qui s'applique sur les poulies motrices.

Objectif 2

Proposer une démarche permettant de régler le correcteur proportionnel intégral de l'asservissement en courant du moteur.

Objectif 1

Proposer une démarche pour déterminer le couple en sortie de réducteur, qui s'applique sur les poulies motrices.

On isole le chariot, les passagers, le contrepoids et les poulies.

On néglige la masse des câbles et des poulies de mouflage.

On calcule l'énergie cinétique de chaque élément en mouvement, puis les puissances extérieures et intérieures à l'ensemble isolé. Enfin, on applique le TEC.

Énergie cinétique :

$$E_{c(E/0)} = E_{c(\text{chariot+passagers}/0)} + E_{c(\text{contrepoids}/0)} + E_{c(\text{poulies}/0)}$$

- Chariot+passagers/0 : translation rectiligne à la vitesse V $E_{c(\text{chariot+passagers}/0)} = \frac{1}{2}(M_c + M_p)V^2$
avec $V = R_p\omega_{red}$.
- Contrepoids/0 : translation rectiligne à la vitesse $V/4$ $E_{c(\text{chariot+passagers}/0)} = \frac{1}{2}M_{cp}\left(\frac{V}{4}\right)^2$
- Poulies/0 : rotation autour d'un axe fixe $E_{c(\text{poulies}/0)} = \frac{1}{2}4J_p\omega_{red}^2$

$$E_{c(E/0)} = \frac{1}{2} \underbrace{\left[\left(M_c + M_p + \frac{M_{cp}}{16} \right) R_p^2 + 4J_p \right]}_{J_{eq}} \omega_{red}^2$$

Puissances extérieures :

$$P_{ext \rightarrow E/0} = P_{pes \rightarrow \text{chariot+passagers}/0} + P_{pes \rightarrow \text{contrepoids}/0} + P_{0 \rightarrow \text{poulies}/0}^{liaisons pivot} + P_{0 \rightarrow \text{chariot+contrepoids}/0}^{sol} + P_{red \rightarrow \text{poulies}/0}$$

- $P_{pes \rightarrow \text{chariot+passagers}/0} = -(M_c + M_p)g \cos \alpha V = -(M_c + M_p)g \cos \alpha R_p\omega_{red}$
- $P_{pes \rightarrow \text{contrepoids}/0} = M_{cp}g \cos \alpha \frac{V}{4} = M_{cp}g \cos \alpha \frac{R_p\omega_{red}}{4}$
- $P_{0 \rightarrow \text{poulies}/0}^{liaisons pivot} = 0$ en supposant les liaisons parfaites
- $P_{0 \rightarrow \text{chariot+contrepoids}/0}^{sol} = 0$ en supposant qu'il y a roulement sans glissement des roues sur la rampe
- $P_{red \rightarrow \text{poulies}/0} = C_{red}\omega_{red}$

Puissances intérieures : nulles en supposant que la transmission par poulies/câbles est parfaite

TEC :

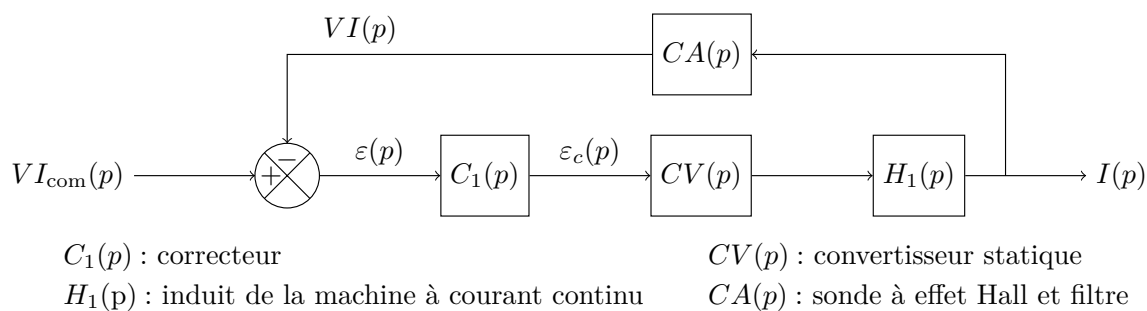
$$\frac{dE_{c(E/0)}}{dt} = P_{ext \rightarrow E/0}$$

$$J_{eq}\omega_{red}\dot{\omega}_{red} = -(M_c + M_p)g \cos \alpha R_p\omega_{red} + M_{cp}g \cos \alpha \frac{R_p\omega_{red}}{4} + C_{red}\omega_{red}$$

$$C_{red} = J_{eq}\dot{\omega}_{red} + g \cos \alpha R_p \left(M_c + M_p - \frac{M_{cp}}{4} \right)$$

Objectif 2

Proposer une démarche permettant de régler le correcteur proportionnel intégral de l'asservissement en courant du moteur.

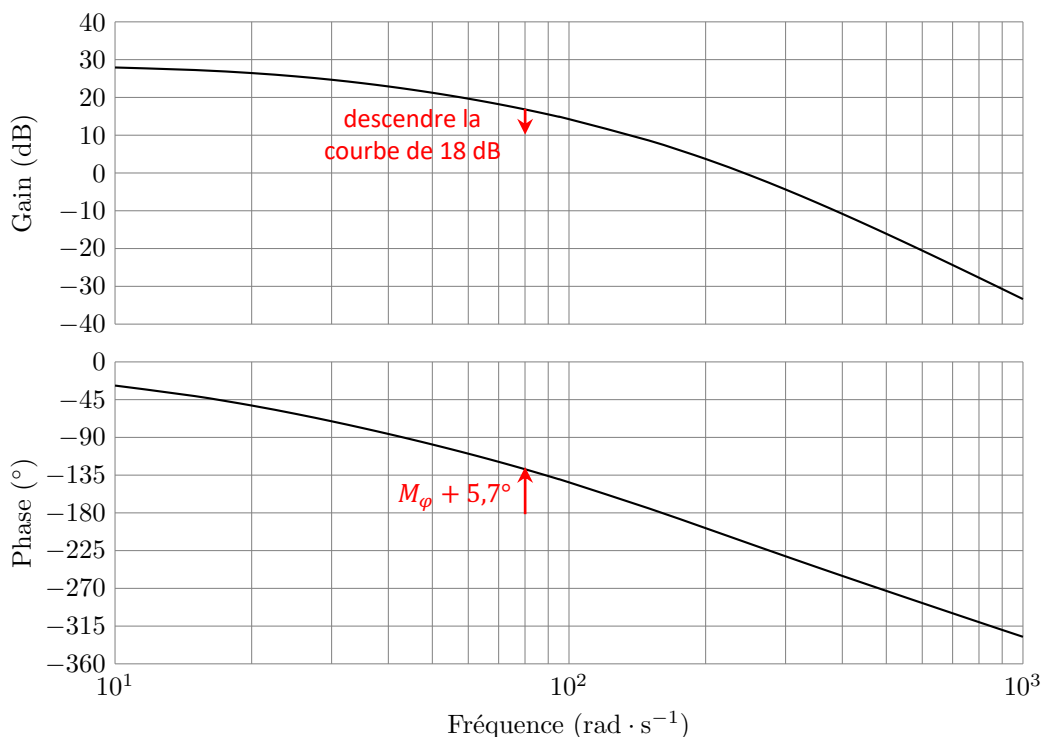


Le correcteur utilisé $C_1(p)$ est un proportionnel intégral et il est dimensionné de manière à obtenir une marge de phase de 45° .

Correcteur PI :

$$C_1(p) = K_p \frac{1 + \tau_i p}{\tau_i p}$$

En se plaçant à $\omega = 80 \text{ rad/s}$, on est à $M_\varphi = 45^\circ + 7,5^\circ$ avant correction. On place donc la pulsation de coupure du correcteur une décade avant, de façon à n'affecter la phase que de $-5,7^\circ$ à $\omega = 80 \text{ rad/s}$. Ainsi, $\frac{10}{\tau_i} = 80 \text{ rad/s}$, soit $\tau_i = 10/80 = 0,125 \text{ s}$.



On règle alors K_p pour faire correspondre ω_{0dB} avec 80 rad/s :

$$20 \log(K_p) = -18 \text{ dB}, \text{ d'où } K_p = 10^{-18/20} = 0,13.$$