Utilisation des outils de calcul et simulation pour l'analyse des systèmes

Modélisation et étude du puller de filage

12 avril 2011

Sommaire

1. Problématique
   - Objectifs de l'étude
   - Présentation du système
   - Fonctionnement du puller
2. Modélisation
   - Étude dynamique
   - Capteur d'effort
   - Schéma block
   - Diagrammes de Bode
3. Correction
   - Correction proportionnelle
   - Correction intégrale

Étude du puller de filage

Problématique

Objectifs de l'étude

On se propose dans cette étude

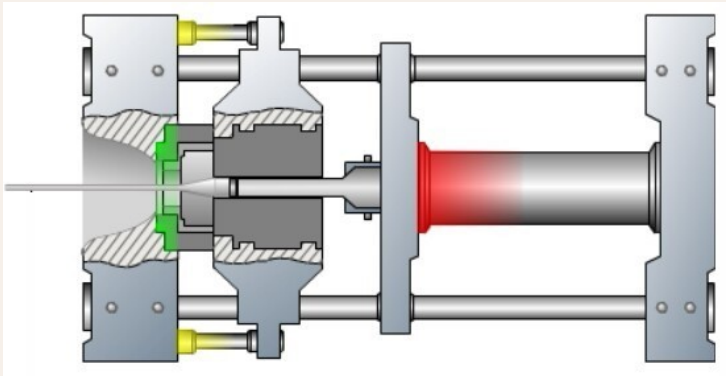
- de modéliser le comportement du puller de filage
- d'étudier le comportement de l'asservissement
- de configurer le correcteur pour répondre au cahier des charges.

Étude du puller de filage

Présentation

Le filage

Le filage est une méthode de mise en forme des métaux par forgeage. Elle consiste à pousser un matériau ductile (éventuellement rendu ductile par chauffage) à travers une filière.



Données

Les principales caractéristiques du procédé utilisé sont les suivantes :

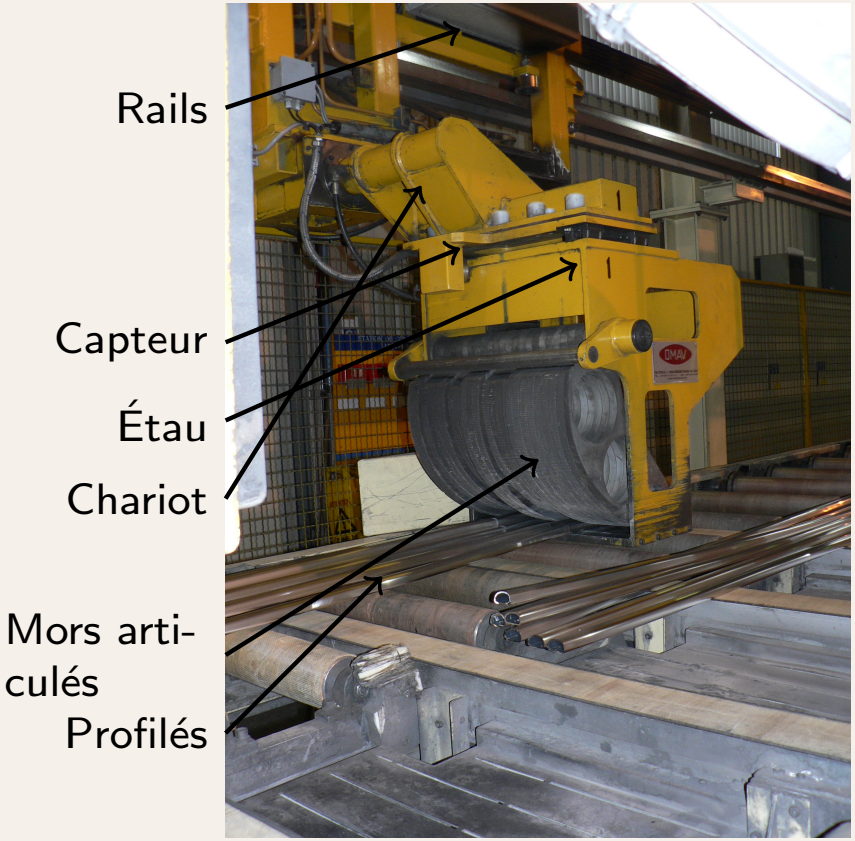
- température du bloc introduit dans la presse : 400 °C à 500 °C,
- pression spécifique générée en extrémité du bloc pour le filage : 400 à 700 MPa,
- effort développé par la presse : 1500 à 4000 tonnes,
- vitesse de filage du profilé obtenu : 5 à 50 m min^{-1},
- température du profilé en sortie de presse : 500 à 560 °C.

Étude du puller de filage

Fonctionnement du puller

Le puller

À la sortie de la filière, le profilé sort à une température d'environ 500 °C et avec une vitesse $\overrightarrow{v_f}$ pouvant varier entre 5 m min^{-1} et 50 m min^{-1}. Afin que celui-ci ne se déforme pas lors du filage, un effort de traction doit lui être appliqué pendant tout le filage. Cet effort sera obtenu grâce à un système asservi appelé « puller ».



Étude du puller de filage

Constitution

Le puller est constitué de deux sous–systèmes identiques travaillant en alternance pour maintenir le profilé en traction pendant tout le cycle de filage.
Chaque sous–système de traction se compose :

- d'un chariot entraîné en translation par une chaîne coulissant sur des rails ;
- d'un bras basculant en pivot avec le chariot ;
- d'un étau coulissant légèrement par rapport au bras ;
- de mors articulés en pivot avec l'étau.

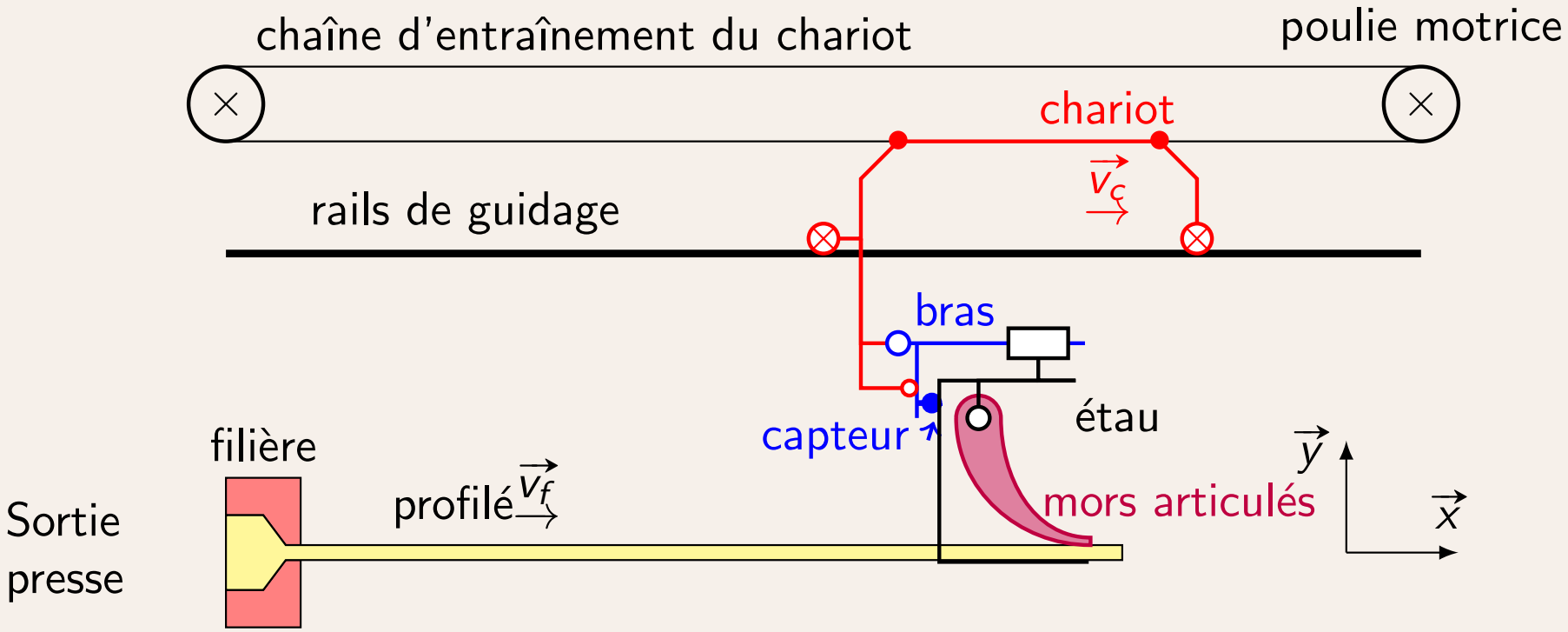
On trouve aussi :

- un moteur à courant continu Siemens 1GG5 132 (non représenté) de 16.7 kW associé à un réducteur de rapport de réduction $\lambda = 22{,}7$ qui entraîne la chaîne grâce à la poulie motrice ;
- deux vérins hydrauliques (non représenté) qui permettent de faire pivoter respectivement le bras support de l'étau et les mors ;
- un capteur d'effort placé entre l'étau et le bras.

Étude du puller de filage

Schématisation

Modélisation

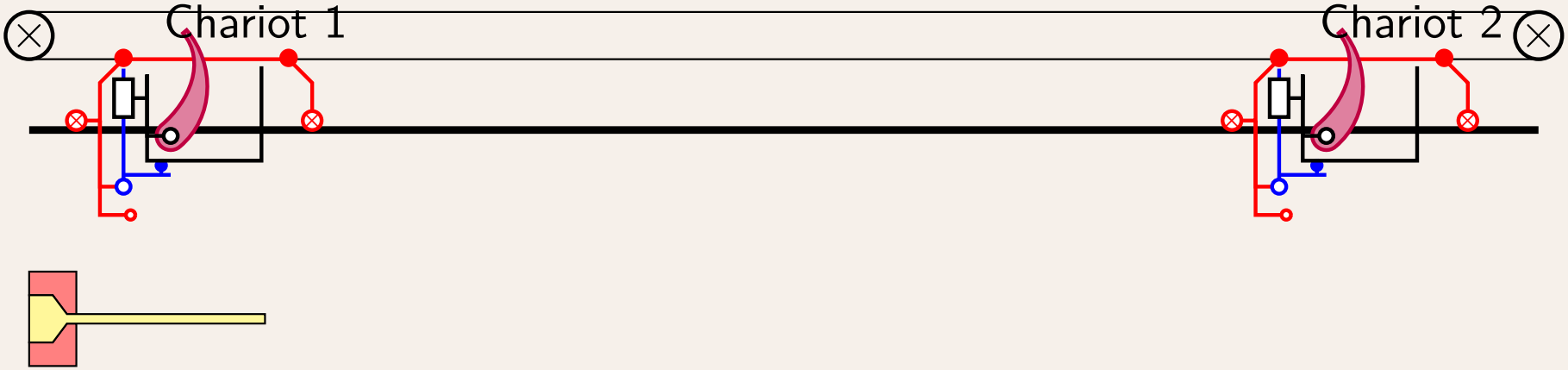


Étude du puller de filage

Principe de fonctionnement

principe

Étape 1 : Début du filage



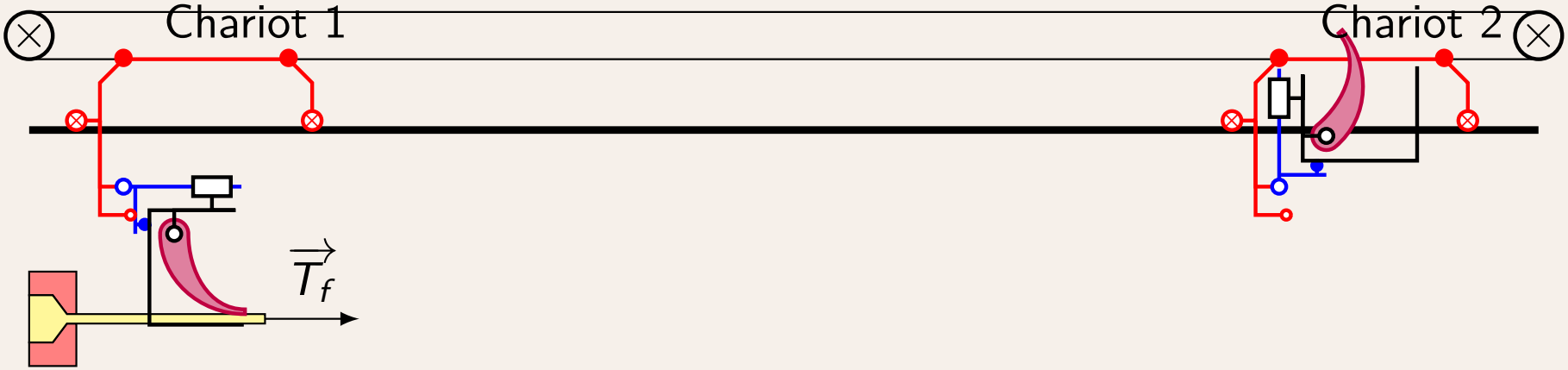
Au début du filage d'une nouvelle série de profilés, le chariot du puller vient se placer à la sortie de la filière en position haute.

Étude du puller de filage

Principe de fonctionnement

principe

Étape 2 : Prise du profil et mise en traction



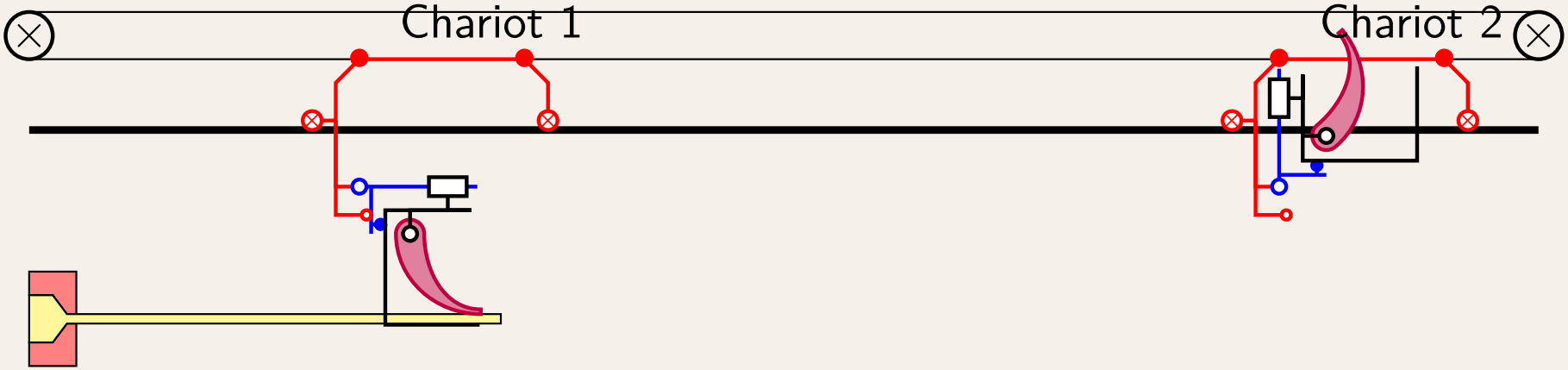
Puis dès que le profilé est suffisamment sorti, la presse s'arrête, l'étau pivote en position basse et les mords viennent serrer le profilé. Le profilé est mis en traction ($T_f = 2000\,\mathrm{N}$).

Étude du puller de filage

Principe de fonctionnement

principe

Étape 3 : Filage, profil en traction



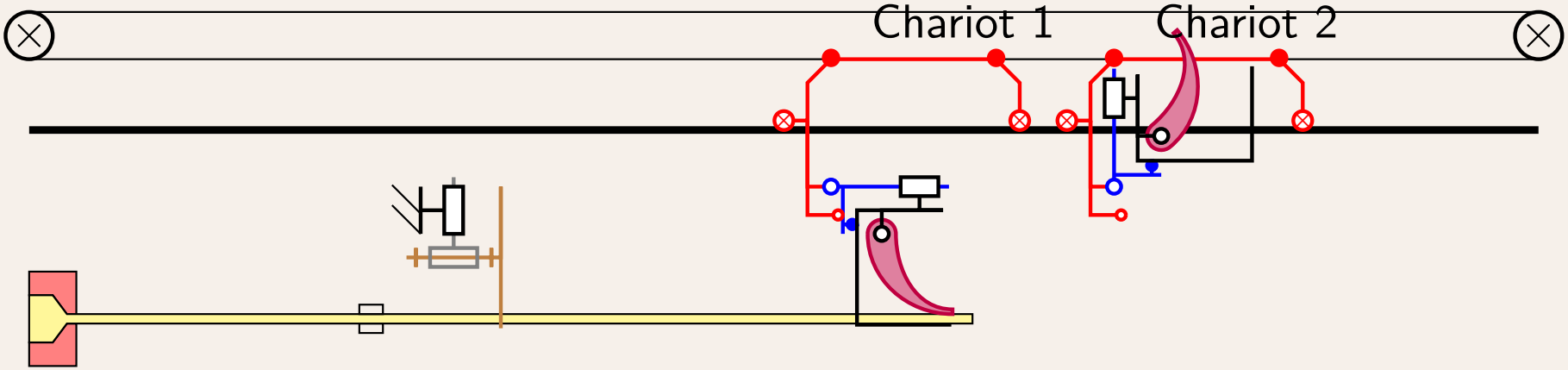
Le filage reprend (la matière est poussée par la presse à travers la filière), le profilé se déplace à la vitesse V_f. Pendant tout le déplacement, l'effort de traction est maintenu constant.

Étude du puller de filage

Principe de fonctionnement

principe

Étape 4 : Longueur de filage atteinte, découpe



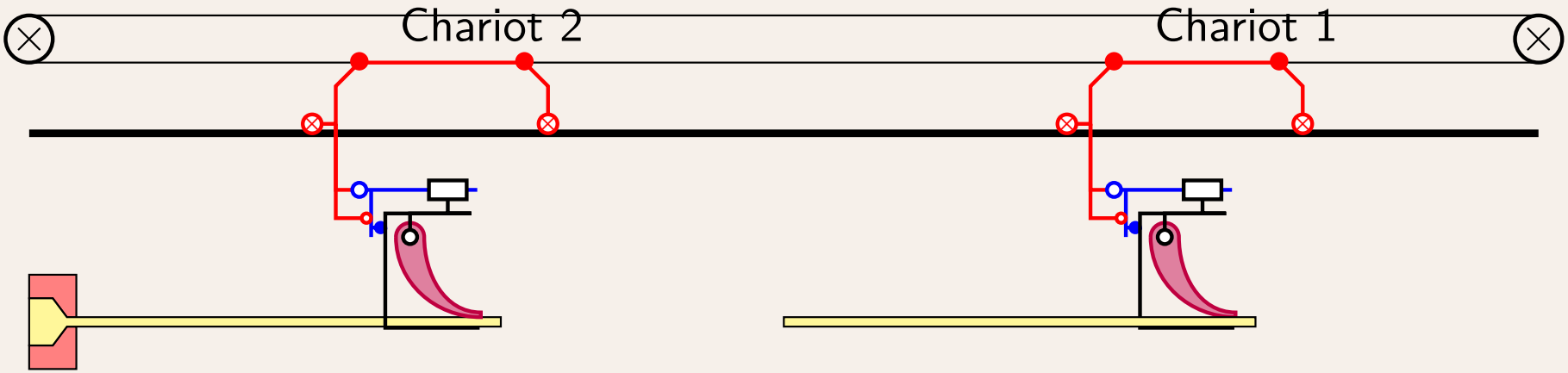
La longueur de débit étant atteinte, le filage est stoppé (arrêt de la presse), le profilé est bridé puis découpé.

Étude du puller de filage

Principe de fonctionnement

principe

Étape 5 : Évacuation du premier profilé - Prise du second profilé



Le profilé découpé est évacué en bout de chaîne par le chariot puis transféré vers le poste de rangement (non présenté sur le schéma). Le chariot attend en position haute et en bout chaîne le cycle suivant. Le deuxième chariot débute la longueur suivante.

Étude du puller de filage

Modélisation

Il s'agit dans cette partie d'établir un modèle de connaissance du système asservi de traction. On se place pendant la phase de filage, les mors sont serrés sur le profilé, la vitesse relative entre l'ensemble {mors, étau} et le profilé est supposée nulle. On note :

- $\overrightarrow{T_f} = -T_f \cdot \vec{x}$, l'action mécanique du profilé sur l'étau ;
- $\overrightarrow{T_c} = T_c \cdot \vec{x}$, l'action mécanique du capteur sur l'étau ;
- $\overrightarrow{v_f} = v_f \cdot \vec{x}$, la vitesse de filage du profilé imposée par la presse.
- $\overrightarrow{v_c} = v_c \cdot \vec{x}$, la vitesse de déplacement du chariot ;
- x_c et x_f respectivement la position du chariot et de l'étau.
- c_m, le couple moteur exercé sur l'arbre d'entrée du réducteur ;
- ω_m, la vitesse de rotation du moteur et ω_p la vitesse de rotation de la poulie ;
- $m_c = 250\,\text{kg}$, masse du chariot ;
- $m_e = 200\,\text{kg}$, masse de l'étau et des mors ;
- $m_\lambda = 2.3\,\text{kg}\,\text{m}^{-1}$, masse linéïque de la chaîne (longueur totale $L_c = 210\,\text{m}$) ;
- $J_m = 0.09\,\text{kg}\,\text{m}^2$, moment d'inertie de l'arbre moteur ;
- J_r, moment d'inertie du réducteur ramené sur l'arbre d'entrée ;
- $R_p = 15\,\text{cm}$, rayon des roues dentées d'entraînement de la chaîne.
- $\lambda = 22{,}7 = \dfrac{\omega_m}{\omega_p}$, le rapport de réduction du réducteur

Étude du puller de filage

Modélisation

Montrez que l'équation différentielle de mouvement du chariot en fonction du couple moteur c_m et de T_c, on précisera le moment d'inertie équivalent J_e en fonction des masses et inerties du mécanisme s'écrit :

$$J_e \cdot \frac{\lambda}{R_p} \ddot{x}_c = C_m - T_c \cdot \frac{R_p}{\lambda} \tag{1}$$

$$\tag{2}$$

avec

$$J_e = J_m + J_r + M_{ch} \cdot \frac{R_p^2}{\lambda^2} + M_c \cdot \frac{R_p^2}{\lambda^2} \tag{3}$$

Étude du puller de filage

Modélisation

On note p la variable de Laplace et $\mathcal{L}x_c(t) = X_c(p)$ la transformée de Laplace de $x_c(t)$ de même :

- $\mathcal{L}(x_f(t)) = X_f(p)$
- $\mathcal{L}(v_f(t)) = V_f(p)$
- $\mathcal{L}(v_c(t)) = V_c(p)$
- $\mathcal{L}(T_c(t)) = T_c(p)$
- $\mathcal{L}(c_m(t)) = C_m(p)$
- $\mathcal{L}(\omega_m(t)) = \Omega_m(p)$

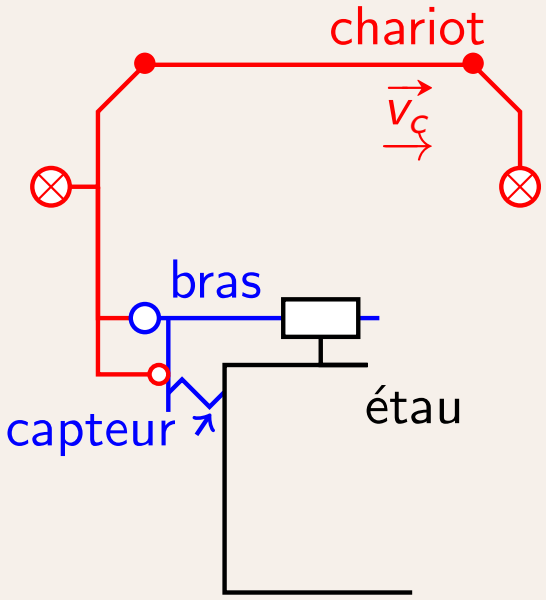
- En déduire la relation dans le domaine de Laplace donnant $X_c(p)$ en fonction de $C_m(p)$ et $T_c(p)$.
- Tracer le schéma bloc correspondant. Faire apparaître les variables $\Omega_m(p)$ et $V_c(p)$ dans le schéma bloc

Étude du puller de filage

Modélisation

Capteur d'effort

Le capteur d'effort peut être modélisé comme un ressort de raideur k_c pour lequel le signal est proportionnel à la déformation.



Si on suppose que à l'instant initial les positions relatives du chariot et de l'étau sont telles que $x_c = x_f = 0$ montrer que la relation entre la mesure T_c de l'effort et les positions x_c et x_f s'écrit :

$$T_c = -k_c \left(x_f - x_c\right). \qquad (4)$$

Tracer le schéma bloc correspondant donnant $T_c(p)$ en fonction de $X_c(p)$ et $V_f(p)$ puis en déduire le schéma bloc donnant $T_c(p)$ en fonction de $C_m(p)$ et $V_f(p)$.

Étude du puller de filage

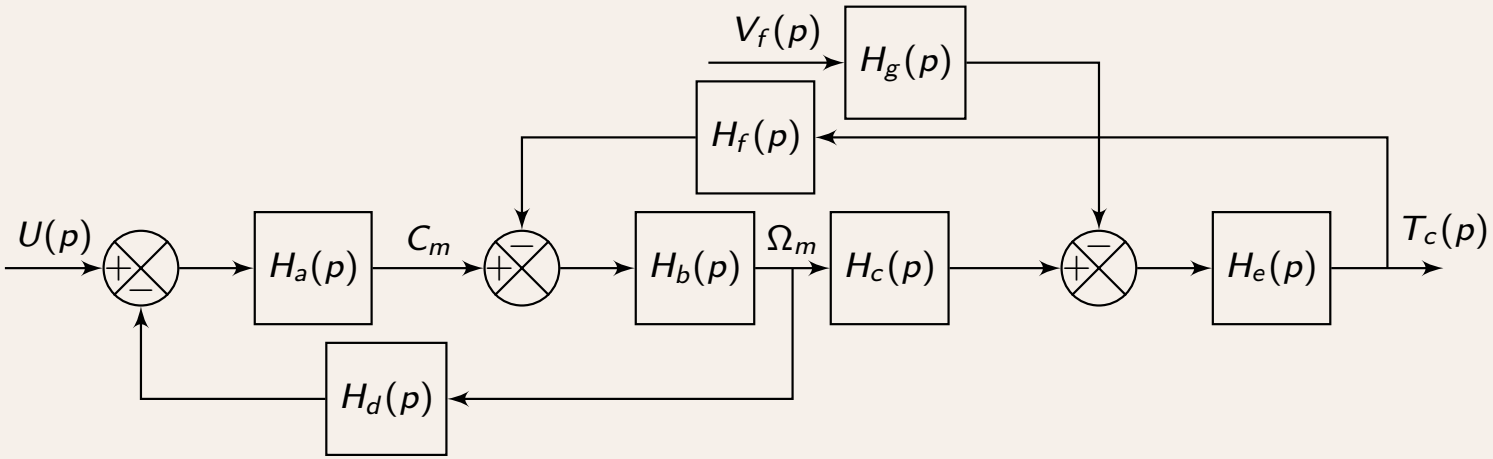
Modélisation

On rappelle les équations électriques d'un moteur à courant continu

$$u = r \cdot i + L \cdot \frac{di}{dt} + e(t),\ C_m = k_t \cdot i,\ e(t) = k_e \cdot \omega_m$$

avec $L = 11\,\text{mH}$, $R = 0.928\,\Omega$ et $k_e = k_t = 1{,}77$ SI.

À partir de ces équations et du schéma bloc précédent, mettre le schéma bloc donnant T_c en fonction de $U(p)$ et $V_f(p)$ sous la forme du schéma ci-dessous :



Expliciter les deux fonctions $G_1(p)$ et $G_2(p)$ telles que $T_c(p) = G_1(p) \cdot U(p) - G_2(p) \cdot V_f(p)$ en fonction des $H_i(p)$.

Étude du puller de filage

Modélisation

L'inductance d'un moteur à courant électrique est souvent négligée, nous allons maintenant préciser dans quelles limites on peut faire cette hypothèse.
Compte tenu des caractéristiques du moteur et des différents constituants, la fonction de transfert s'écrit si :

- l'inductance n'est pas négligée :
$$G_1(p) = G_{1a}(p) = \frac{3{,}19 \cdot 10^7}{110 \cdot p^3 + 5000 \cdot p^2 + 258000 \cdot p + 59500}$$
- l'inductance est négligée : $G_1(p) = G_{1b}(p) = \dfrac{63700}{10 \cdot p^2 + 513 \cdot p + 119}$

Tracer avec votre logiciel de modélisation des systèmes linéaires, les diagrammes de Bodes de $G_{1a}(p)$ et $G_{1b}(p)$

Quels risques prend-on en négligeant l'inductance.

Étude du puller de filage

Correction

Le cahier des charges précise :

- Le puller doit assurer un effort de traction T_f pendant les différentes phases du filage :
  - maintien de l'effort à l'arrêt ;
  - montée en vitesse ;
  - filage à vitesse constante.
- L'erreur statique ε_s doit être inférieure à 100 N dans toutes les phases de fonctionnement à vitesse constante.
- La réponse temporelle ne doit pas présenter d'oscillations.

Pour cela, on choisit de mesurer l'effort T_c et de comparer celui-ci à la consigne F_c. Un régulateur permet de générer la tension de commande $u(t)$. Le schéma bloc figure **??** précise le modèle d'étude.

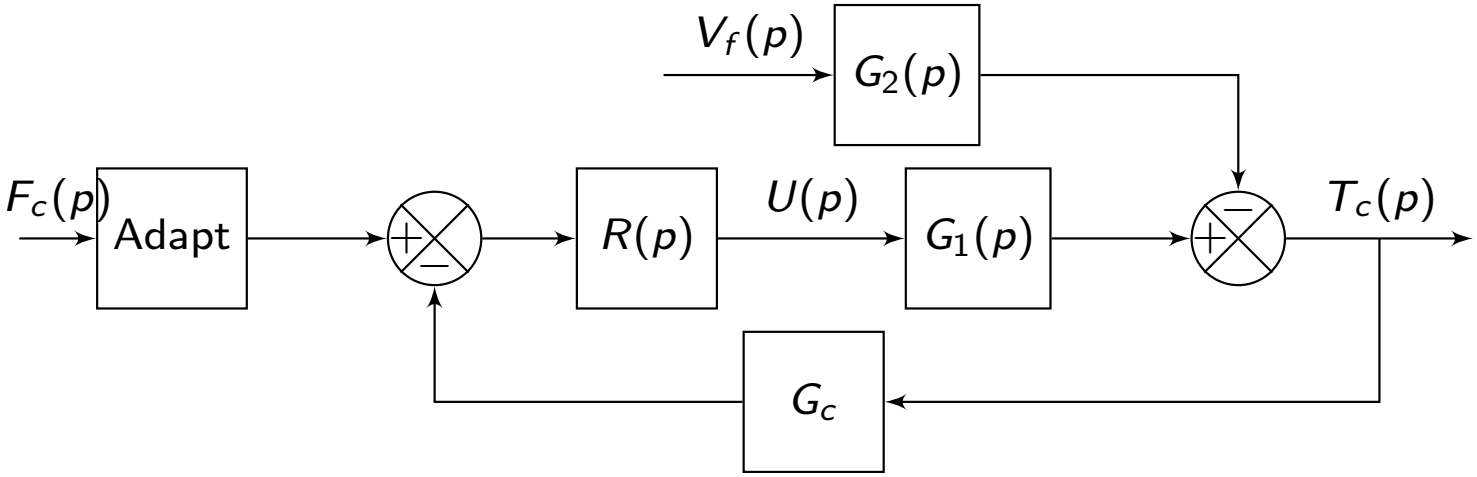
Étude du puller de filage

Correction

Pour cette partie, on choisit le modèle non simplifié pour G_1, les deux fonctions de transfert s'écrivent compte tenu des caractéristiques mécaniques et électriques et quelques simplifications :

$$G_1(p) \approx \frac{2{,}90 \cdot 10^5}{(p + 0{,}232) \cdot (p^2 + 45{,}2 \cdot p + 2330)} \tag{5}$$

$$G_2(p) \approx \cdot \frac{150000}{1 + 4 \cdot p} \tag{6}$$



Le gain du capteur et du circuit associé est de $G_c = \frac{1}{1000}\,\mathrm{V\,N^{-1}}$. Le bloc *Adapt* est un bloc d'adaptation que vous évaluerez si nécessaire.

Étude du puller de filage

Correction

On se propose de vérifier maintenant si une régulation proportionnelle permet de respecter le cahier des charges, on choisit $R(p) = R_0$, un gain constant. La consigne de traction est $F_c = 2000\,\mathrm{N}$. Les phases de fonctionnement sont les suivantes :

1. presse à l'arrêt $v_f(t) = 0$, mise en tension $F_c = 2000\,\mathrm{N}$;
2. rampe de vitesse $v_f(t) = a \cdot t$ avec $a = 0.3\,\mathrm{m\,s^{-2}}$, maintien de la consigne de traction, ;
3. vitesse constante $v_f(t) = v_3$ ($v_3 = 6\,\mathrm{m\,min^{-1}}$), maintien de la consigne de traction.

Fonctions de transfert

- Déterminer $H_1(p) = \dfrac{Tc(p)}{Fc(p)}$ $(v_f(t) = 0)$ et $H_2(p) = \dfrac{T - c(p)}{V_f(p)}$ $(f_c(t) = 0)$.
- Préciser la valeur du gain *Adapt*.

On se place pendant la première phase de fonctionnement, presse à l'arrêt $v_f(t) = 0$ et $F_c = 2000\,\mathrm{N}$.

Correction proportionnelle

- Déterminer à partir du critère du revers ou avec le critère de Routh, la valeur maximale du gain R_0 pour que le système reste stable.
- Déterminer la valeur minimale du gain R_0 respectant la condition sur l'erreur statique. Conclure

Étude du puller de filage

Correction

Le cahier des charges précise que la vitesse de filage peut varier de $5\,\mathrm{m\,min^{-1}}$ à $50\,\mathrm{m\,min^{-1}}$, un simple correcteur proportionnel est-il toujours envisageable ?

On se propose maintenant d'améliorer le comportement du système en choisissant un nouveau régulateur.

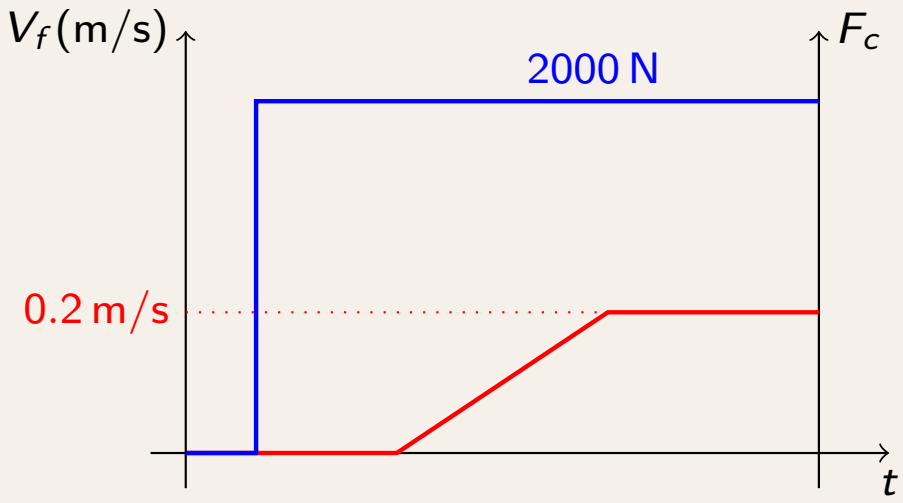
$$R(p) = R_0 \left(1 + \frac{1}{T_0 \cdot p}\right) \text{ avec } T_0 = 5\,\mathrm{s} \tag{7}$$

- Quelles sont les caractéristiques de ce régulateur ?
- Tracer l'allure des diagrammes de Bode de $R(p)$ pour $R_0 = 1$.

Étude du puller de filage

Correction

Tracer sur le diagramme de Black de la fonction de transfert en boucle ouverte du système ($V_f(p) = 0$ et $R_0 = 1$). Le système est-il stable ?

La figure ci-contre précise l'évolution temporelle de la vitesse de filage et de la consigne de traction, reproduire cette figure sur votre copie et tracer (qualitativement) l'allure de la réponse temporelle de $T_c(t)$ et conclure. Déterminer l'erreur indicielle durant cette phase de fonctionnement en fonction de R_0, F_c et v_3. Est-il possible alors de respecter le cahier des charges avec ce régulateur ?

réponse temporelle