

TD10 – Machine d'essai universelle

1. Machine d'essai universelle

Présentation

Une machine de traction est une machine d'essai permettant de soumettre des éprouvettes de matériaux à des efforts et de mesurer la déformation afin d'établir des lois de comportement de ces matériaux.

La machine de traction-compression (voir photographie figure 1) est conçue pour être utilisée dans de nombreuses applications d'essais de matériaux et de structures. Elle permet de réaliser des essais de traction, de compression, de flexion, de fatigue, de fluage, de dureté, de frottement ainsi que des tests sur des assemblages et des structures.



Figure 2 : Machine de traction



Figure 3 : Eprouvette dans les mors de la machine.



Figure 1 : Eprouvette avant et après essai

Cette machine est commercialisée par Shimadzu. Elle est présente dans les services recherche et développement de nombreuses entreprises.

La machine d'essais est reliée à une partie commande constituée d'un micro-ordinateur, d'une imprimante, d'un logiciel et d'une interface logiciel/machine pour le pilotage, l'acquisition et le traitement des données.

Les caractéristiques générales (voir schéma technologique figure 4) sont présentées ci-dessous :

- Effort maximal sur la traverse : 50 kN.
- Course maximale : 1 m.
- Entraînement : Servomoteur à courant continu avec génératrice tachymétrique.
- Transmission : Réducteur roue et vis sans fin, poulies, courroie crantée et vis à billes.
- Mesure du déplacement : Codeur optoélectronique de résolution 500 positions par tour.
- Mesure de l'effort : Capteur à jauges de déformations.
- Alimentation : 240 V monophasé / 50 Hz à 1 kW max.
- Couple maximal du servomoteur : 3 N.m.

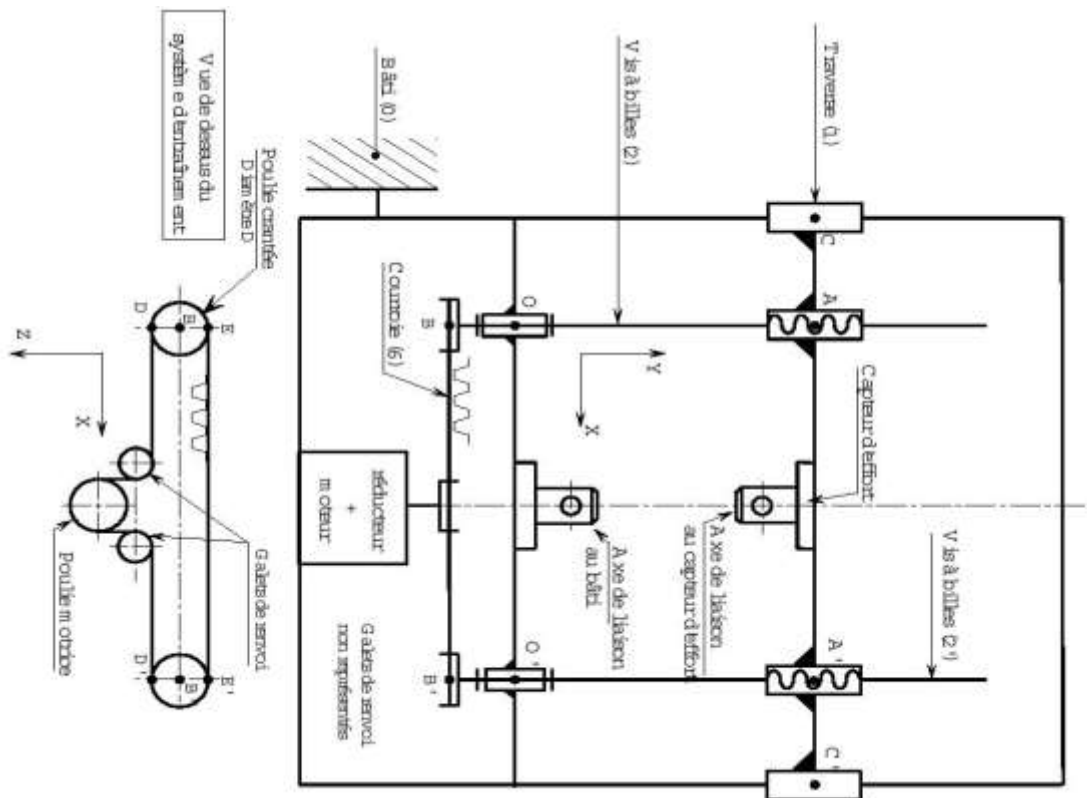


Figure 4 : Schéma technologique

Fonctionnement de la machine

La machine est constituée de deux mors (3) et (5) tirant de part et d'autre de l'éprouvette. Le mors (5) est fixé au bâti de la machine tandis que le mors (3) est fixé à une traverse mobile (1). Sur le mors (3) est implanté un capteur d'effort.

La traverse mobile est en translation verticale par rapport au bâti. Le mouvement est guidé par deux liaisons glissières en C et C'. Le mouvement de translation est transmis par deux vis à billes en A et A'.

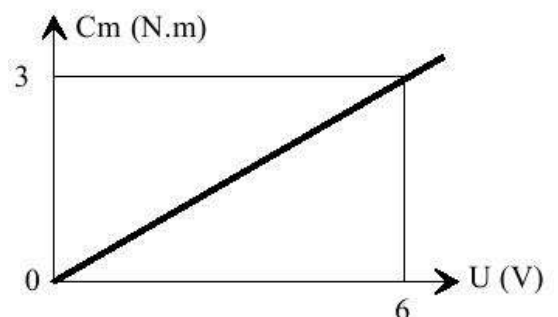
Une vis à billes (figure 6) est constituée d'une tige filetée (vis (2) et (2')) et d'un écrou (système "vis-écrou"). Des billes s'interposent dans le filetage afin de réduire au minimum les frottements. Ce sont des vis à billes à 1 filet et de pas $p = 5$ mm, c'est à dire que lorsque la vis effectue 1 tour, la traverse se déplace de 5 mm.



Figure 6 : Vue écorchée d'une vis à bille



Figure 5 : Roue et vis sans fin

Figure 7 : Evolution du couple C_m en fonction de la tension d'entrée du moteur U

Les deux vis (2) et (2') sont entraînées en rotation par des poulies crantées et une courroie (6). Toutes les poulies servant à l'entraînement sont de mêmes diamètres.

La poulie motrice est entraînée par un motoréducteur, c'est à dire un moteur électrique associé à un réducteur de vitesse.

Les essais sont généralement pilotés en effort : l'opérateur définit le profil d'effort consigne $F_c(t)$ à appliquer à l'éprouvette, à travers l'interface de pilotage. Cette interface délivre une tension de consigne $U_c(t)$, image de l'effort à appliquer à l'éprouvette.

Cette tension $U_c(t)$ est comparée à la tension $U_m(t)$, image de l'effort réel, mesurée par le capteur d'effort. L'écart $\varepsilon(t)$ entre les deux tensions est transmis au correcteur.

Le correcteur est chargé de définir la consigne moteur $U_{cm}(t)$ en fonction de l'écart de tension $\varepsilon(t)$. Il s'agit d'une carte électronique dont on peut facilement régler les paramètres afin d'ajuster les performances de l'asservissement.

Cette consigne est ensuite amplifiée. L'amplificateur délivre une tension continue $u(t)$ au moteur, proportionnel à la tension de consigne $U_{cm}(t)$ définie par le correcteur.

Le moteur électrique entraîne le réducteur. Le couple de sortie $C_m(t)$ est proportionnel à la tension électrique $u(t)$ aux bornes du moteur. La courbe figure 7 donne l'évolution du couple en fonction de la tension. Remarque : un couple est un effort qui "tend à faire tourner" l'arbre moteur ; il s'exprime en N.m.

Le moteur électrique tourne trop vite et son couple est trop faible pour être directement utilisable : il faut réduire la vitesse, ce qui a pour conséquence d'augmenter le couple dans la même proportion.

Le réducteur de vitesse est un réducteur à "roue et vis-sans-fin" (figure 5). L'arbre moteur est fixé à la vis du système "roue et vis-sans-fin" tandis que la roue est fixée à la vis (2) du système "vis-écrou". A chaque tour de l'arbre moteur, la roue se décale d'une dent. La roue possède au total $Z = 30$ dents.

Le couple moteur $C_m(t)$ est donc amplifié par le réducteur qui exerce un couple $C_r(t)$ à la poulie motrice. La courroie transmet le couple $C_r(t)$ aux deux poulies crantées fixées sur les vis, tel que le couple sur les vis soit égal à $C_v(t) = C_r(t)/2$.

Les systèmes "vis-écrou" convertissent ces deux couples $C_v(t)$ en une force verticale $F(t)$ de traction sur l'éprouvette.

Le capteur d'effort mesure cet effort $F(t)$ et délivre une tension $U_m(t)$, image de l'effort.

Modélisation de l'asservissement en effort

- Q1. Déterminer la grandeur physique de consigne et la grandeur physique asservie par le système, en précisant leurs unités.
- Q2. A partir de la description du système, proposer un schéma bloc fonctionnel en indiquant dans chaque bloc le nom du composant participant à l'asservissement, et pour chaque lien le nom et l'unité SI de la grandeur physique.
- Q3. A partir de la courbe de comportement figure 7, déterminer le gain K_m du moteur électrique.
- Q4. Déterminer le rapport de réduction du système roue et vis-sans-fin : $k = \omega_r / \omega_m$ où ω_m est la vitesse de rotation du moteur (et donc de la vis-sans-fin) et ω_r est la vitesse de la roue.

Sachant que le rapport des couples entrée-sortie est l'inverse du rapport de vitesse de rotation $\frac{C_r}{C_m} = \frac{\omega_m}{\omega_r} = \frac{1}{k}$, déterminer le gain K_r du réducteur.

- Q5. Déterminer le gain K_{pc} du système poulie-courroie.
- Q6. Pour le système vis-écrou, le rapport en effort est l'inverse du rapport cinématique : $\frac{F_e}{C_v} = \frac{\omega_v}{V_e}$ où F_e est l'effort exercé par la vis sur l'écrou associé (en N), C_v le couple exercé sur la vis (en N.m),

V_e la vitesse de l'écrou (en m/s) et ω_v la vitesse de rotation de la vis (en rad/s). En déduire le gain K_{ve} du système vis-écrou.

- Q7. On donne $K_F = 10^{-4} V/N$ le gain du capteur d'effort, $K_a = 10$ le gain de l'amplificateur, K_1 le gain de l'interface de pilotage (déterminé par la suite) et $C(p)$ la fonction de transfert du correcteur. Tracer le schéma bloc du système en précisant les fonctions de transfert associées à chaque bloc et les grandeurs physiques exprimées dans le domaine de Laplace.

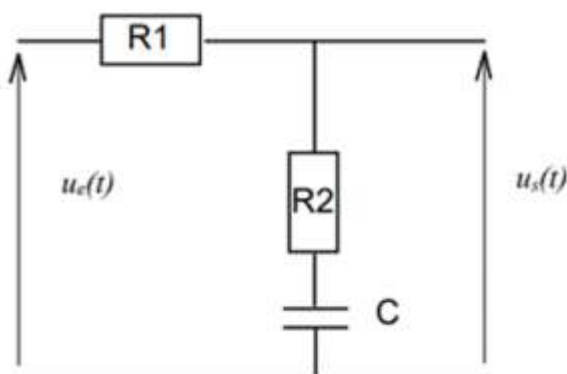
On souhaite maintenant utiliser ce modèle afin de déterminer les performances de l'asservissement. Le correcteur a pour fonction de transfert $C(p) = 1/\tau p$ où $\tau = 3$ s.

- Q8. Déterminer l'expression de la fonction de transfert en boucle ouverte $FTBO(p)$. On pourra poser $K_2 = 2 \cdot K_a \cdot K_m \cdot K_r \cdot K_{pc} \cdot K_{ve}$.
- Q9. Déterminer l'expression de la fonction de transfert en boucle fermée $FTBF(p) = F(p)/F_c(p)$.
- Q10. On rappelle que le système est stable si les pôles de la fonction de transfert en boucle fermée sont à parties réelles négatives (les pôles sont les racines du dénominateurs). Déterminer si le système est stable.
- Q11. Déterminer l'expression de la réponse $F(p)$ dans le domaine de Laplace, pour une consigne en échelon $F_c(t) = F_0 U(t)$.
- Q12. On rappelle que la limite à convergence $F(t \rightarrow \infty)$ peut être calculée à partir de l'expression de la sortie dans le domaine de Laplace $F(p)$ par le théorème de la valeur finale: $\lim_{t \rightarrow \infty} f(t) = \lim_{p \rightarrow 0} pF(p)$. Déterminer l'expression de la limite à convergence de l'effort $F(t \rightarrow \infty)$ pour une consigne en échelon $F_c(t) = F_0 U(t)$.
- Q13. Déduire de la question précédente la valeur de K_1 à adopter pour que le système soit précis. On adopte désormais cette valeur de K_1 .
- Q14. Pour déterminer l'expression de la réponse temporelle $F(t)$.
- Q15. Déduire de l'expression précédente de $F(p)$ la transformée inverse de Laplace $F(t)$. Tracer l'allure de $F(t)$.
- Q16. Calculer la valeur de $F(t)$ pour $t = \tau$, $t = 2\tau$ et $t = 3\tau$. En déduire la rapidité du système en déterminant le temps de réponse à 5% : $t_{R5\%}$.

2. Circuit électrique : modèle de connaissance

I Présentation :

On donne le circuit électrique ci-contre :



On donne les équations suivantes:

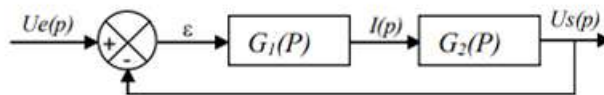
- $u_{R1}(t) = R1 \cdot i(t)$,
- $u_{R2}(t) = R2 \cdot i(t)$,
- $u_c(t) = \frac{1}{C} \cdot \int i(t) dt$,
- $u_e(t) = u_{R1}(t) + u_{R2}(t) + u_c(t)$,
- $u_s(t) = u_{R2}(t) + u_c(t)$

II Travail demande :

Q1. Pour les conditions de Heaviside, écrire les images de ces équations dans le domaine de Laplace.

Q2. Exprimer la fonction transfert $H_I(p) = \frac{U_s(p)}{U_e(p)}$

Q3. On précise que le système peut se mettre sous la forme du schéma bloc suivant :



Exprimer $G1(p)$ et $G2(p)$ en fonction $R1$, $R2$, C et p

Q4. Donner l'expression numérique de $H_I(p)$. On donne $\tau1 = R2.C = 1\text{ ms}$; $\tau2 = (R1+R2).C = 5\text{ ms}$

Q5. Donner, pour une entrée indicielle unitaire, $s(t)$ par décomposition en éléments simples.

3. Thermomètre : modèle de comportement

Le capteur précédent, initialement à 20°C est brusquement placé dans un courant d'air de 250 mm/min à 10°C . Cet essai correspond en fait à un échelon de 10°C . On relève les indications suivantes :

Q3.1. Comment peut-on modéliser l'entrée ?

Q3.2. Comment peut-on modéliser le comportement du système ?

Q3.3. On souhaite déterminer ses constantes caractéristiques. Quelles précautions doit-on prendre ? Faire les calculs.

temps [s]	temperature capteur $\theta_m(t)$ [°C]
0	20,0
5	17,8
10	16,1
15	14,7
20	13,7
25	12,9
30	12,2
35	11,7
40	11,4
45	11,1
50	10,8
55	10,6
60	10,5
65	10,4