

COMPTE RENDU

DATE

TP3 : 19/11/24

TP3 : 22/11/24

TP1 : 27/11/24

COMMANDE DES SYSTEMES LINEAIRES

TP1 : MODELISATION D'UN MOTEUR A
COURANT CONTINU

TP2 : COMMANDE D'UN MOTEUR A
COURANT CONTINU

TP3 : REGULATION DE PRESSION :
COMMANDE PAR RETOUR
D'ETAT - OBSERVATEUR

● Professeur : Alex DOS REIS DE SOUZA

● Etudiants : Loan GANDINI
Pierre-Alexandre NAUD

● Groupe : 3A FISA AE
Groupe 2

Sommaire

1.1 Introduction.....	1
1.2 Description du module électromécanique.....	1
1.3 Identification des paramètres K_s et K_g	2
1.4 Identification du moteur dans le domaine temporel	5
1.4.2 Travail à effectuer.....	5
2.1 Introduction.....	7
2.2 Calcul d'un correcteur proportionnel.....	7
2.2.1 Travail de préparation	8
2.2.2 Travail à effectuer.....	9
2.3 Calcul d'une commande par retour d'état.....	9
2.3.3.1 Travail à effectuer.....	9
3.1 Introduction.....	12
3.2 Description de la manipulation	12
3.3 Modélisation et indentification du processus.....	12
3.3.2 Validité du modèle	12
3.3.3 Mise en place du modèle d'état.....	14
3.4 Conception du retour d'état.....	16
3.4.1 Préparation.....	16
3.4.2 Travail expérimental.....	19

Table des figures

Figure 1 - Schéma fonctionnel	1
Figure 2 - Photo de la maquette	2
Figure 3 - Graphique présentant la position angulaire du potentiomètre en fonction de sa tension associée.	3
Figure 4 - Utilisation d'un potentiomètre en diviseur de tension	3
Figure 5 - Photo du montage permettant de réaliser les mesures	4
Figure 6 - Graphique présentant la tension du tacho en fonction de la vitesse	4
Figure 7 - Graphique réduit de la tension du potentiomètre en fonction de sa position angulaire.	5
Figure 8 - Réponse temporelle du système à un échelon de 5V	6
Figure 9 - Schéma bloc représentant le système	7
Figure 10 - Modification du schéma-bloc pour répondre au problème	10
Figure 11 - Maquette pour la régulation de pression	12
Figure 12 - Modèle en boucle ouverte du système sur Simulink	12
Figure 13 - Réponse du système en boucle ouverte à un échelon unitaire	13
Figure 14 - Réponse du système en boucle ouverte à un échelon unitaire avec K modifié	14
Figure 15 - Schéma bloc du système en boucle fermée	19
Figure 16 - Schéma Simulink permettant de tester le retour d'état sur le système réel	20
Figure 17 - Réponse du système réel avec $K = 1$	20
Figure 18 - Réponse du système réel avec $K = 0.1111$	21

1.1 Introduction

Le but de cette manipulation est de modéliser un système électromécanique à partir d'une analyse fréquentielle, ainsi qu'à partir d'une analyse temporelle.

1.2 Description du module électromécanique

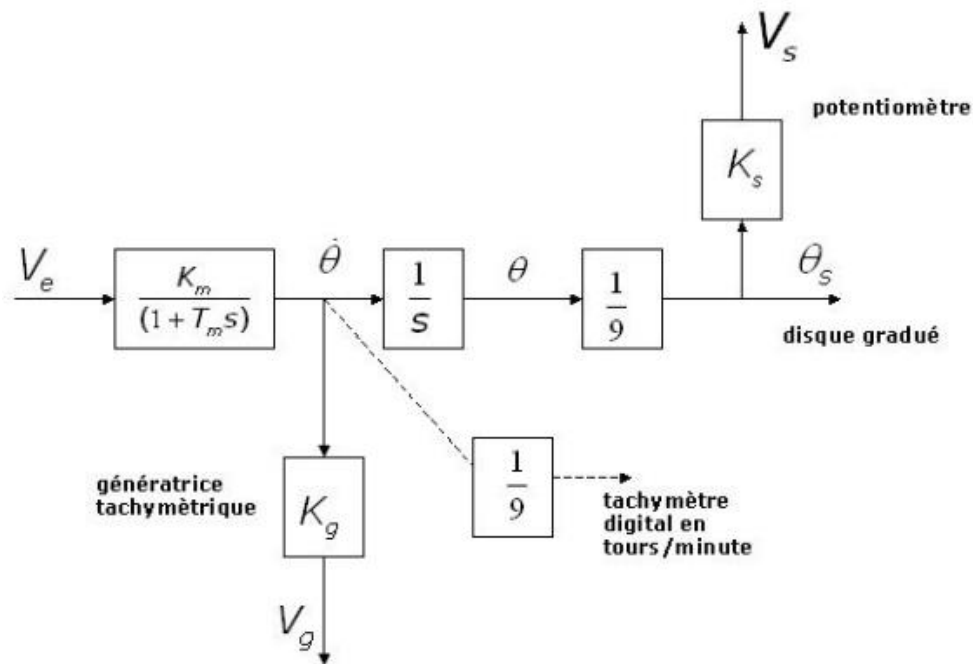


Figure 1 - Schéma fonctionnel

La fonction de transfert entre la position θ de l'arbre et la tension V_e appliquée à l'induit est donnée par :

$$\frac{\theta(s)}{V_e(s)} = \frac{K_m}{s(1 + T_m s)}$$

L'objectif de la manipulation consiste à identifier les paramètres K_m et T_m de la fonction de transfert du moteur, ainsi que les gains K_s et K_g du potentiomètre et de la génératrice tachymétrique.

1.3 Identification des paramètres K_s et K_g

Une première étape consiste à obtenir les valeurs des gains des capteurs, en particulier les valeurs de K_s et K_g . Le gain du potentiomètre peut être obtenu par comparaison de l'indication du disque gradué et de la tension V_s . Le relevé expérimental de la caractéristique (θ_s, V_s) permettra de déduire la valeur du gain K_s en volt par radian (i.e V/rad). Le relevé expérimental de la caractéristique $(\dot{\theta}, V_g)$, permettra de déduire la valeur du gain K_g en Volt par rad/s (i.e $V.s/rad$). On tracera les courbes sur Matlab en utilisant la fonction *plot*, et on veillera à donner les coefficients en unités internationales.

1^{ère} étape : Mesure de la tension du potentiomètre selon sa position

Afin de mesurer la tension du potentiomètre selon sa position, on utilise un multimètre qu'on vient placer en sortie du potentiomètre. On relève ensuite la tension en fonction de l'angle.

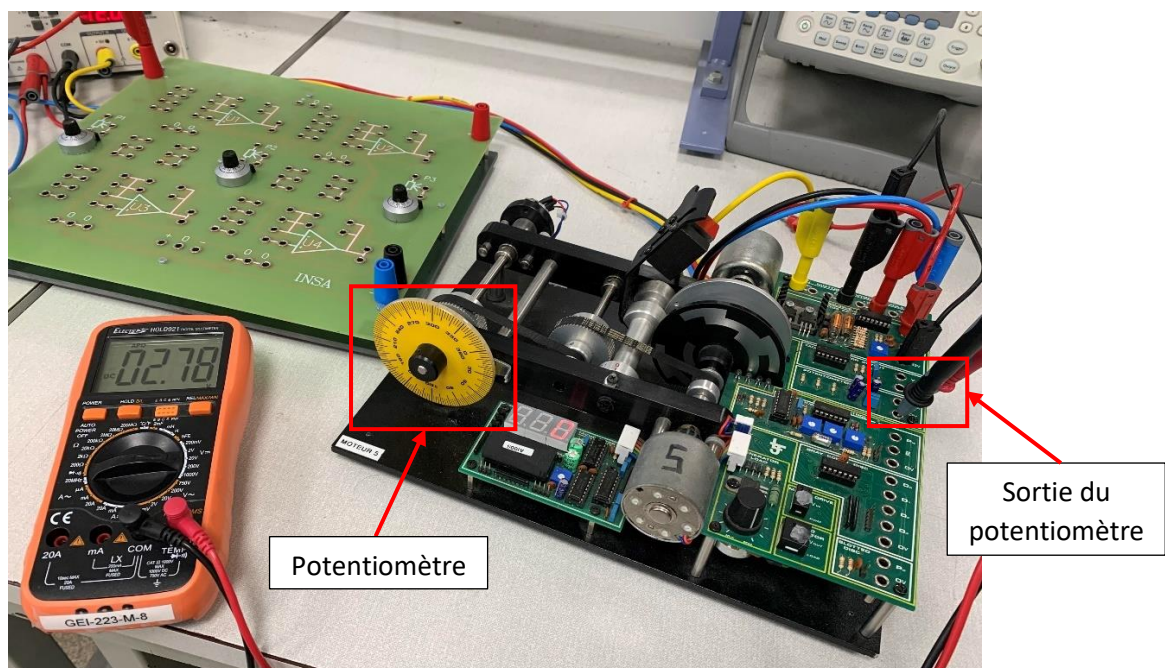


Figure 2 - Photo de la maquette

Après avoir réalisé une dizaine de mesures, on vient créer à l'aide de Matlab, un graphique représentant la position angulaire du potentiomètre en fonction de sa tension associée.

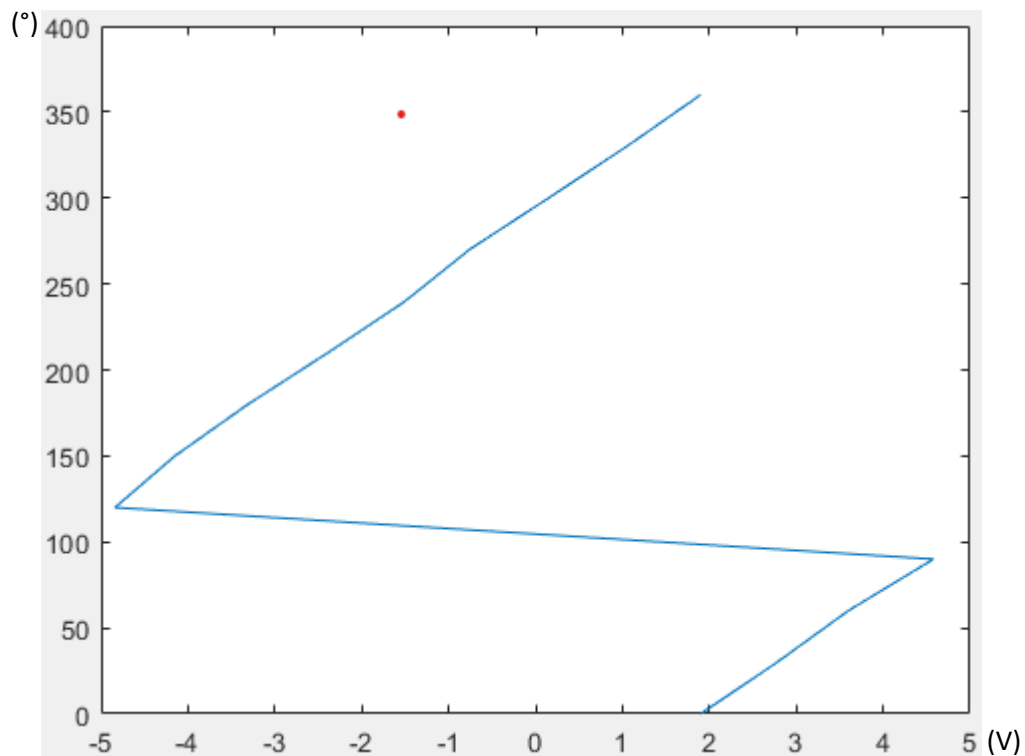


Figure 3 - Graphique présentant la position angulaire du potentiomètre en fonction de sa tension associée.

2^{ème} étape : Mesure de la tension du tacho en fonction des RPM (Round Per Minute)

Afin de mesurer la tension du tacho en fonction des RPM, on utilise un multimètre qu'on vient placer en sortie du tacho. On relève ensuite la tension en fonction des RPM. Afin de faire varier la vitesse du tacho et par conséquent la tension, on utilise un potentiomètre en mode « diviseur de tension » en reliant la tension d'entrée à la pin d'entrée du potentiomètre et en reliant sa sortie au tacho.

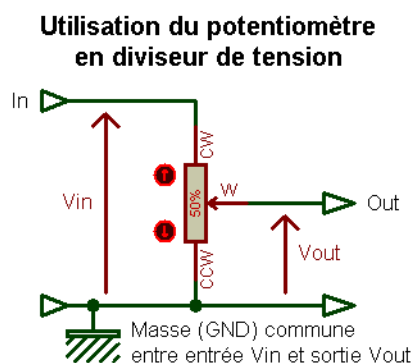


Figure 4 - Utilisation d'un potentiomètre en diviseur de tension

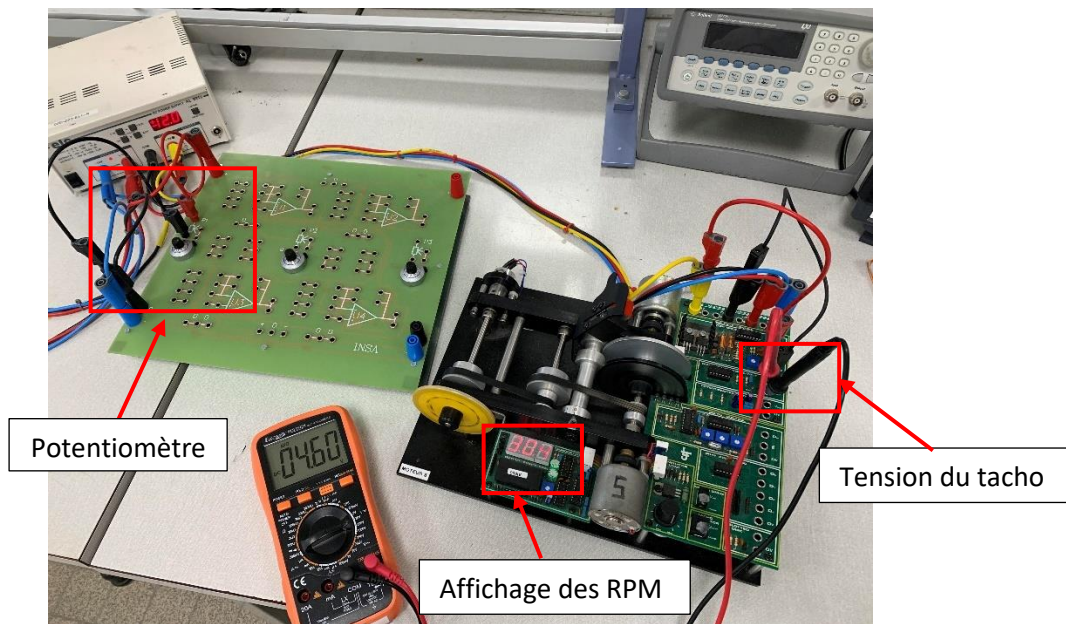


Figure 5 - Photo du montage permettant de réaliser les mesures

Après avoir réalisé une dizaine de mesures, on vient créer à l'aide de Matlab, un graphique représentant la tension du tacho en fonction de nombre de RPM.

Pour information, la valeur affichée sur l'afficheur 7 segments est divisée par 9 par rapport à la valeur réelle afin que les 3 digits puissent afficher la vitesse.

Par exemple, une vitesse affichée à 100 RPM correspond à une vitesse de 900 RPM en réalité.

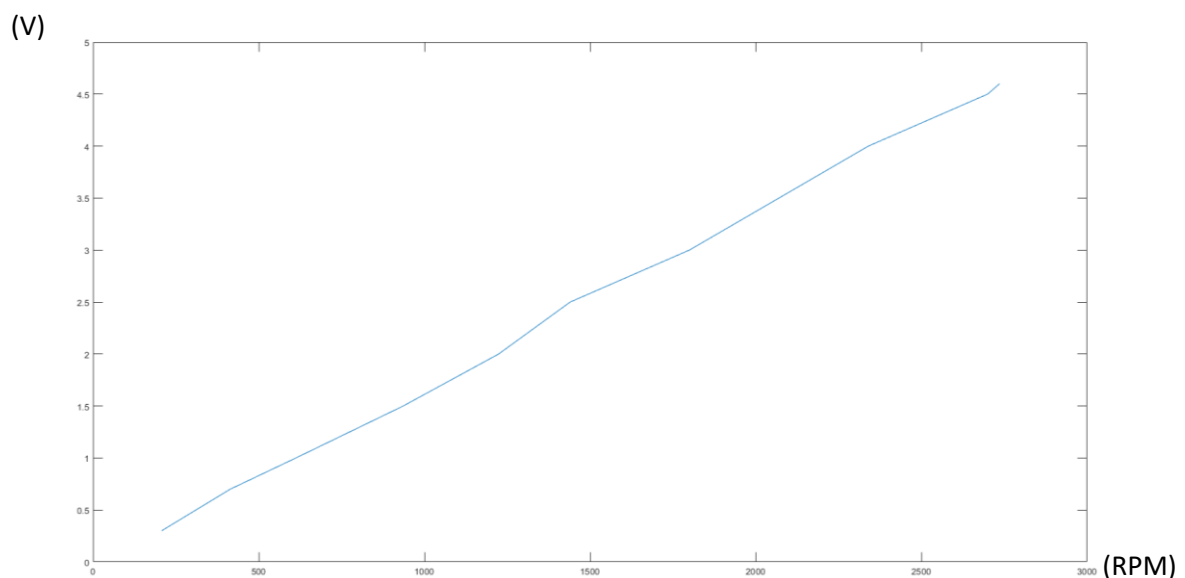


Figure 6 - Graphique présentant la tension du tacho en fonction de la vitesse

On peut remarquer que l'évolution de la vitesse en fonction de la tension est quasiment linéaire.

Pour déterminer K_s et K_g , il faut calculer les pentes des courbes associées.

Valeur de K_s :

Pour déterminer la valeur de K_s , on utilise la courbe présentant la valeur de tension du potentiomètre en fonction de l'angle. Cependant, nous avons déterminé la valeur en utilisation la fonction polyfit de Matlab qui permet de trouver l'équation d'une droite et pour que l'équation soit correcte nous avons dû réduire le graphique initial à seulement une partie.

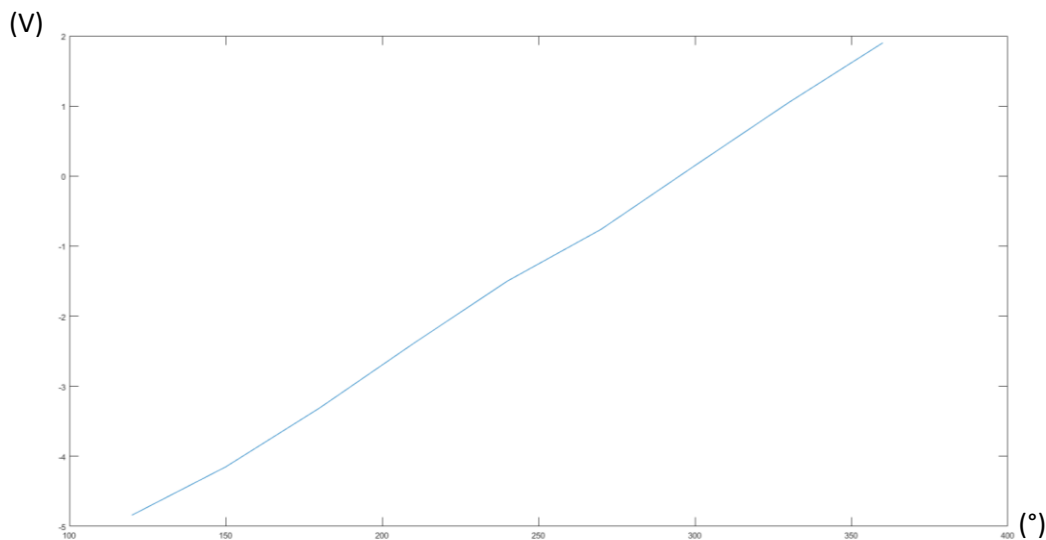


Figure 7 - Graphique réduit de la tension du potentiomètre en fonction de sa position angulaire.

A l'aide de Matlab on obtient $\alpha = 0.028$ soit $K_s = 0.028$

Valeur de K_g :

Pour déterminer la valeur de K_s , on utilise la courbe présentant la valeur de tension du tachomètre en fonction de la vitesse.

A l'aide de Matlab on obtient $\alpha = 0.017$ soit $K_g = 0.017$

1.4 Identification du moteur dans le domaine temporel

L'objectif de cette partie est de déterminer un modèle du système à partir de l'analyse de la réponse à un échelon.

1.4.2 Travail à effectuer

Pour une entrée V_e en échelon de position d'une amplitude de 5 volts, relever la réponse en tension V_g du système. En déduire la valeur de K_m et T_m .

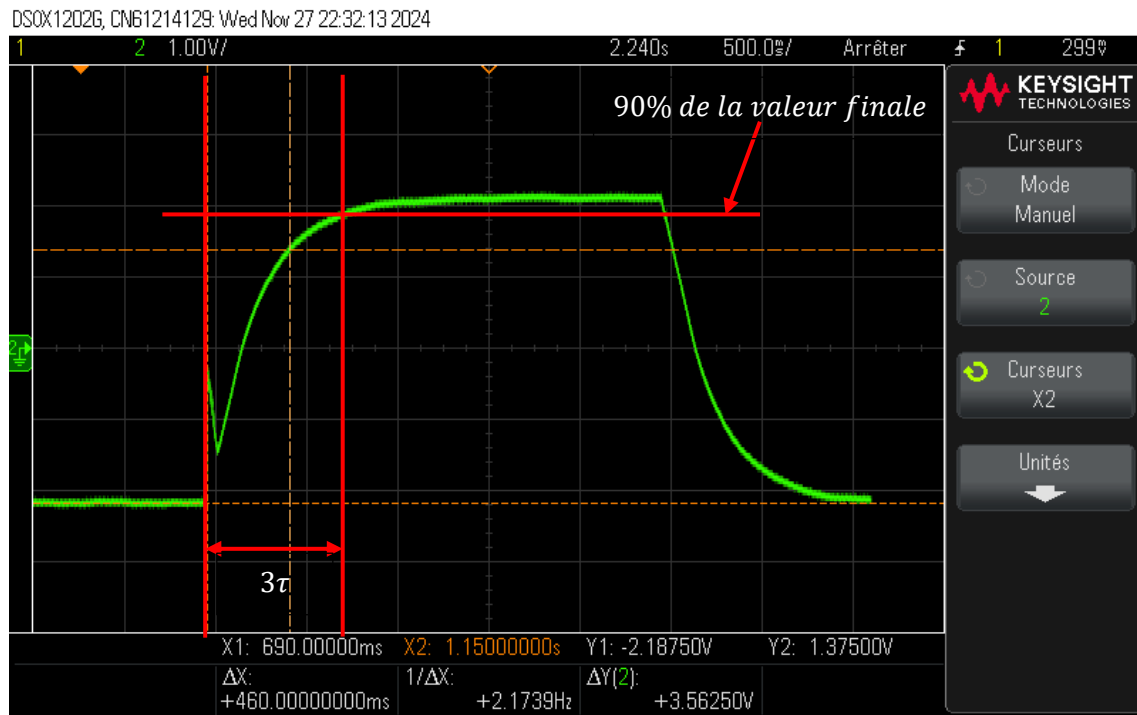


Figure 8 - Réponse temporelle du système à un échelon de 5V

Mesure de K_m :

$$K_m = \frac{V_s}{V_e * K_g} = \frac{4.3}{5 * 0.017} = 50.85$$

Mesure de T_m :

$$\text{On sait que } T_m = \frac{90\% \text{ de la valeur finale}}{3}$$

$$\text{A l'aide de la capture ci-dessus, on mesure } 3\tau = 730\text{ms} \Leftrightarrow T_m = \frac{730 \cdot 10^{-3}}{3} = 243\text{ms}$$

2.1 Introduction

Ce TP n'a pas été fait en cours. Nous avons uniquement réalisé le TP3 (2 séances) et le TP1 (1 séance) en cours. Nous traiterons donc uniquement les parties théoriques de ce TP.

Le but de cette manipulation est de calculer des lois de commande permettant d'asservir la position de l'arbre moteur.

- la première approche consistera à déterminer des correcteurs proportionnel et proportionnel dérivé, sur la base de l'analyse fréquentielle, en utilisant la notion de marge de phase et des outils simples comme l'abaque de Black,
- la deuxième approche consistera à calculer une loi de commande en utilisant une technique de placement de pôles par retour d'état.

Cette manipulation doit obligatoirement être précédée de la manipulation 1 qui fournit les courbes de réponses et modèles du système à commander.

2.2 Calcul d'un correcteur proportionnel

On boucle le système suivant le schéma suivant :

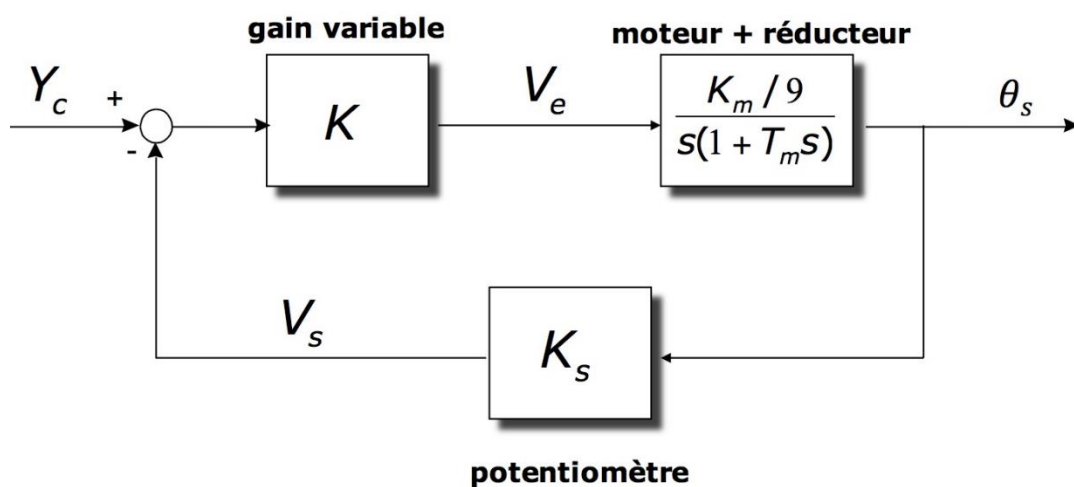


Figure 99 - Schéma bloc représentant le système

2.2.1 Travail de préparation

1. Calculer la fonction de transfert et identifier les paramètres du polynôme caractéristique.

On vient donc calculer la fonction de transfert correspondant à ce système :

$$G_1(s) = G_{1.1}(s) \times G_{1.2}(s)$$

$$\text{avec } G_{1.1}(s) = K \text{ et } G_{1.2}(s) = \frac{\frac{K_m}{9}}{s(1+T_ms)}$$

$$G_1(s) = K \times \frac{\frac{K_m}{9}}{s(1+T_ms)}$$

$$G_2(s) = K_s$$

$$\theta_s(s) = \frac{G_1(s)}{1 + G_1(s)G_2(s)}$$

$$\theta_s(s) = \frac{K \times \frac{\frac{K_m}{9}}{s(1+T_ms)}}{1 + K \times \frac{\frac{K_m}{9}}{s(1+T_ms)} \times K_s}$$

$$\theta_s(s) = \frac{\frac{KK_m}{9}}{s(1+T_ms) + \frac{KK_mK_s}{9}}$$

$$\theta_s(s) = \frac{\frac{KK_m}{9}}{s + T_ms + \frac{KK_mK_s}{9}}$$

$$\theta_s(s) = \frac{\frac{KK_m}{9T_m}}{s^2 + \frac{s}{T_m} + \frac{KK_mK_s}{9}}$$

Par identification, on a :

$$\omega_n^2 = \frac{KK_mK_s}{9}$$

$$\omega_n = \sqrt{\frac{KK_mK_s}{9}}$$

$$K = \frac{1}{K_s}$$

$$2\zeta\omega_n = \frac{1}{T_m} \Leftrightarrow \zeta = \frac{1}{2T_m\omega_n} = \frac{1}{2T_m\sqrt{\frac{KK_mK_s}{9}}}$$

2.2.2 Travail à effectuer

Confronter les résultats obtenus expérimentalement avec ceux obtenus par le calcul. On réalisera le gain à l'aide d'un montage à base d'amplificateurs opérationnels.

Cela n'a pas pu être fait en séance comme dit précédemment.

2.3 Calcul d'une commande par retour d'état

2.3.3.1 Travail à effectuer

1. Calculer une commande par retour d'état de telle sorte que le système bouclé se comporte comme un système du second ordre avec un dépassement inférieur à 5% et de temps de réponse à 2% inférieur à $t_r = 0,8s$. Pour faire ces calculs, on choisira la représentation d'état qui permet ensuite de pouvoir réaliser la commande à partir des grandeurs physiques mesurables sur la platine.

Modèle d'état :

Soit :

$$x = \begin{bmatrix} V_s \\ V_g \end{bmatrix} \quad u = V_e \quad y = V_s$$

Il vient le modèle d'état :

$$\begin{cases} \dot{x} = Ax + Bu \\ y = Cx \end{cases}$$

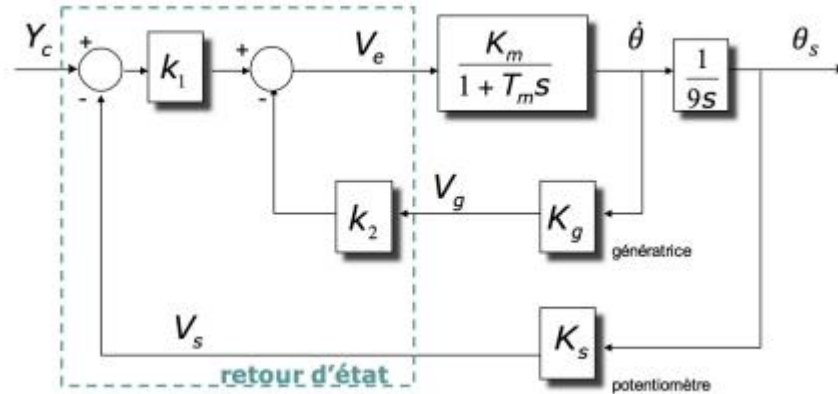


Figure 1010 - Modification du schéma-bloc pour répondre au problème

Avec :

$$A = \begin{bmatrix} 0 & \frac{K_s}{9K_g} \\ 0 & -\frac{1}{T_m} \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{K_m K_g}{T_m} \end{bmatrix} \quad C = [1 \quad 0]$$

Commande par retour d'état : $u = -Kx + Hy_c$ soit, avec $V_s^* =$ consigne y_c :

$$V_e = -[k_1 \quad k_2] \begin{bmatrix} V_s \\ V_g \end{bmatrix} + k_1 V_s^*$$

Matrice d'évolution du système bouclé par retour d'état :

$$A - BK = \begin{bmatrix} 0 & \frac{K_s}{9K_g} \\ -k_1 \frac{K_m K_g}{T_m} & -\frac{1}{T_m} - k_2 \frac{K_m K_g}{T_m} \end{bmatrix}$$

Equation caractéristique :

$$s^2 + \frac{1 + k_2 K_m K_g}{T_m} s + \frac{k_1 K_m K_s}{9T_m} = 0$$

Par identification avec le polynôme caractéristique souhaité : $s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2$, on déduit k_1 et k_2 .

$$2\zeta\omega_n s = \frac{1+k_2K_mK_g}{T_m} \Leftrightarrow k_2 = \frac{2\zeta\omega_n s T_m - 1}{K_mK_g}$$

$$\omega_n^2 = \frac{k_1K_mK_s}{9T_m} \Leftrightarrow k_1 = \frac{9T_m\omega_n^2}{K_mK_s}$$

2. Vérifier les résultats expérimentalement en réalisant la commande par retour d'état :

Cela n'a pas pu être fait en séance comme dit précédemment.

3.1 Introduction

L'objectif de la manipulation consiste à réaliser une régulation de pression d'air dans un tube sur un processus de type "sèche-cheveux".

Le modèle étant donné, les études seront menées théoriquement et pratiquement grâce à Simulink Temps Réel.

3.2 Description de la manipulation

Il s'agit d'un dispositif (maquette AMIRA de type LTR 701 ou son équivalent INSA) permettant la régulation de la pression dans un tube grâce à de l'air propulsé à l'intérieur ainsi que la régulation de la température de l'air en un point du tube. Nous ne nous intéresserons dans cette manipulation qu'à la régulation de la pression dans le tube P.



Figure 1111 - Maquette pour la régulation de pression

3.3 Modélisation et indentation du processus

3.3.2 Validité du modèle

Mettre en place un modèle Simulink permettant de tracer la réponse du système réel à un échelon autour du point de fonctionnement utilisé lors de l'identification. Identifier la valeur de K.

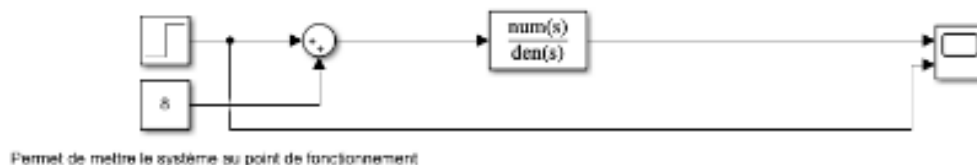


Figure 12 12 - Modèle en boucle ouverte du système sur Simulink

Pour identifier la valeur de K, on la met à 1 par défaut.

Avec $K = 1$, on obtient la simulation ci-dessous :

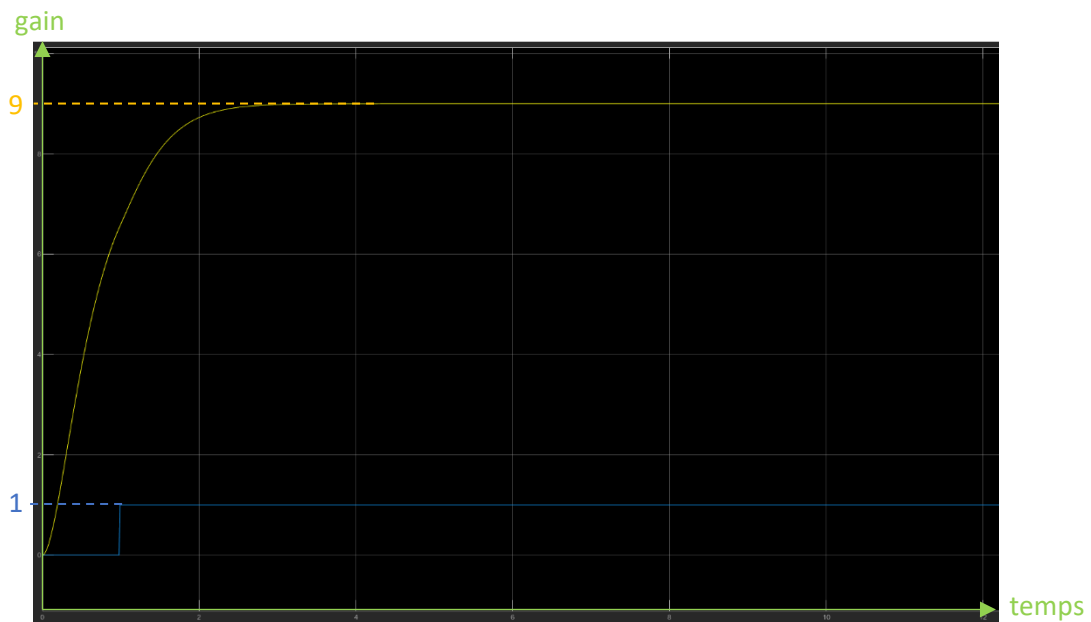


Figure 13 13- Réponse du système en boucle ouverte à un échelon unitaire

La courbe bleue représente l'entrée échelon du système. La courbe jaune représente la réponse du système à cet échelon.

A l'aide de la simulation ci-dessus, on peut constater que la valeur de sortie du système donne environ 9 au lieu de 1, ce qui correspond à la valeur de l'échelon.

Ainsi on peut en déduire la valeur de K qui est $K = \frac{1}{9} = 0.1111$

Mettre en place un modèle Simulink permettant de tracer la réponse du système identifié à un échelon autour du point de fonctionnement utilisé lors de l'identification.

Maintenant, nous resimulons le modèle avec un gain K de 0.1111.

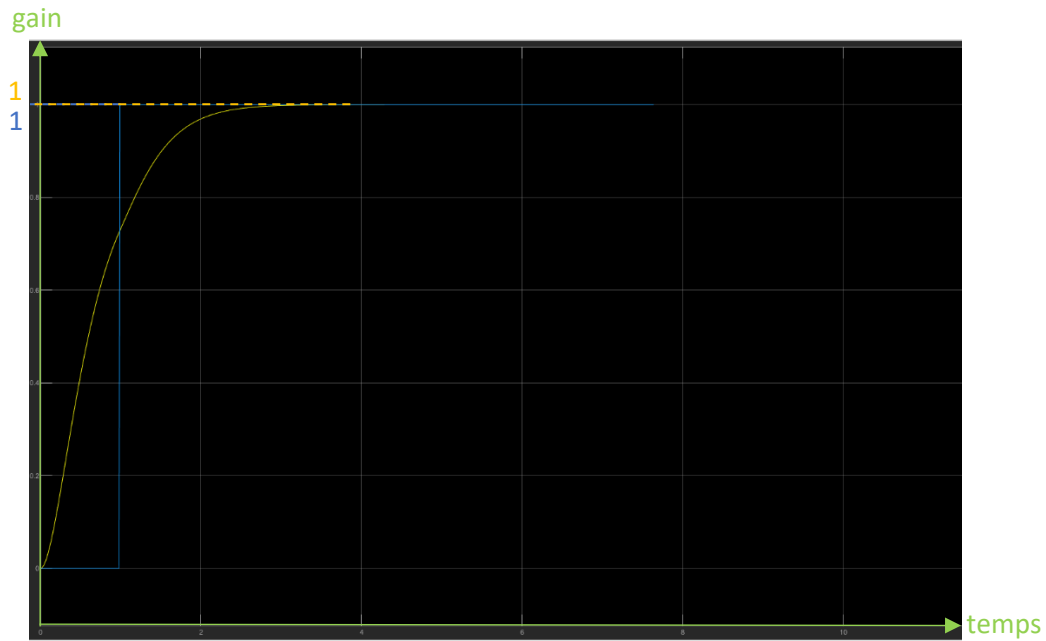


Figure 1414 - Réponse du système en boucle ouverte à un échelon unitaire avec K modifié

La courbe bleue représente l'entrée échelon du système. La courbe jaune représente la réponse du système à cet échelon.

Désormais, nous pouvons voir sur l'image ci-dessus, que la valeur finale du système en boucle ouverte est bien identique à la valeur de l'échelon. Ainsi, avoir modifié la valeur de K nous a permis de corriger l'erreur de position.

3.3.3 Mise en place du modèle d'état

De manière à pouvoir mettre en place une commande par retour d'état, définir les matrices A, B, C, D correspondant à la forme compagne de commandabilité.

Pour rappel : $F(s) = \frac{\Delta P(s)}{\Delta M(s)} = \frac{K}{1 + 0.6323s + 0.1001s^2}$

Nous pouvons constater que la fonction de transfert ci-dessus, n'est pas de la forme :

$$F(s) = \frac{K}{s^2 + xs + y}$$

Passage de la TF sous forme canonique :

$$F(s) = \frac{\frac{K}{0.1001}}{\frac{0.1001}{0.1001}s^2 + \frac{0.6323}{0.1001}s + \frac{1}{0.1001}} = \frac{\frac{K}{0.1001}}{s^2 + 6.316s + 9.99}$$

Passage de la fonction de transfert sous forme compagne de commandabilité :

$$\begin{cases} dx = A_{FCC} \times x + B_{FCC} \times u \\ y = C_{FCC} \times x + D_{FCC} \times u \end{cases}$$

Pour rappel : $F_{FCC}(s) = \frac{b_{n-1}s^{pn-1} + b_{n-2}s^{pn-2} + \dots + b_0}{a_n s^{pn} + a_{n-1}s^{pn-1} + \dots + a_0}$

$$A_{FCC} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & \dots \\ \dots & \dots & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 1 \\ -a_0 & -a_1 & \dots & \dots & -a_{n-1} \end{bmatrix}$$

$$B_{FCC} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \dots \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$C_{FCC} = [b_0 \quad b_1 \quad \dots \quad b_{n-1}]$$

Dans notre cas on obtient les matrices suivantes :

$$A_{FCC} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -9.99 & -6.316 \end{bmatrix}$$

$$B_{FCC} = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$C_{FCC} = \begin{bmatrix} K & 0 \\ 0.1001 & 0 \end{bmatrix}$$

$$D_{FCC} = 0$$

$$\begin{cases} dx = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -9.99 & -6.316 \end{bmatrix} \times x + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} \times u \\ y = \begin{bmatrix} K & 0 \\ 0.1001 & 0 \end{bmatrix} \times x \end{cases}$$

3.4 Conception du retour d'état

L'objectif de la commande par retour d'état est de commander le système selon un cahier des charges donné. Le système identifié étant un système du second ordre, on peut choisir facilement la dynamique du système corrigé. Nous avons à notre disposition 3 cahiers des charges différents, deux basés sur des caractéristiques dynamiques souhaitées, un sur du placement de pôles :

Cahier des charge n°1 : Le système corrigé doit être un système du second ordre avec les caractéristiques suivantes :

- Dépassement inférieur à 5%
- Temps de réponse à 5% de 2s.

Cahier des charge n°2 : Le système corrigé doit être un système du second ordre avec les caractéristiques suivantes :

- Dépassement inférieur à 5%
- Temps de réponse à 5% de 0,5s.

Cahier des charge n°3 : Le système corrigé doit être un système du second ordre avec les caractéristiques suivantes :

- Valeur propre de $-2 + 2i$
- Valeur propre de $-2 - 2i$

3.4.1 Préparation

En préparation pour les deux cahiers des charges basés sur la réponse dynamique, déterminer le polynôme caractéristique souhaité pour le système bouclé. En déduire la loi de commande (gain de retour d'état L et gain de précommande I_d).

Pour le troisième cahier des charges, justifier le choix des valeurs propres.

Cahier des charges n°1 :

On souhaite un dépassement $\leq 5 \%$.

Pour un système du second ordre, on sait que ξ correspond au coefficient d'amortissement et il est à l'origine du dépassement.

Calcul de ξ :

$$D = e^{\frac{\xi\pi}{\sqrt{1-\xi^2}}} \quad \text{Avec } D \leq 5 \%$$

En réalisant le calcul ci-dessus, on obtient $\xi = 0.7$

On souhaite également un temps de réponse égal à 2s.

On sait que $tr = \frac{3}{w_n} \Leftrightarrow w_n = \frac{3}{tr}$

Application numérique :

$$w_n = \frac{3}{2} = 1.5 \text{ rad/s et } w_n^2 = 2.25 \text{ rad/s}$$

Polynôme caractéristique :

$$s^2 + 2\xi w_n s + w_n^2 \Leftrightarrow s^2 + (2 * 0.7 * 1.5)s + 2.25 = s^2 + 2.1s + 2.25$$

Calcul de la loi de commande :

$$\begin{cases} dx = A \times x + B \times u \\ y = L \times x \end{cases} \quad \text{Avec } L = [l_0 \quad l_1]$$

En boucle fermée :

$$sI - (A - BL) = \begin{bmatrix} s & 0 \\ 0 & s \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -a_0 & -a_1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} [l_0 \quad l_1]$$

$$sI - (A - BL) = \begin{bmatrix} s & -1 \\ a_0 + l_0 & s + a_1 + l_1 \end{bmatrix}$$

$$\det[sI - (A - BL)] = s(s + a_1 + l_1) + a_0 + l_0 = s^2 + \underbrace{s(a_1 + l_1)}_{2\xi w_n s} + \underbrace{a_0 + l_0}_{w_n^2}$$

$$w_n^2 = a_0 + l_0$$

$$\Leftrightarrow 2.25 = 9.99 + l_0$$

$$\Leftrightarrow l_0 = 2.25 - 9.99 = -7.74$$

$$2\xi w_n = a_1 + l_1$$

$$\Leftrightarrow l_1 = 2\xi w_n - a_1$$

$$\Leftrightarrow l_1 = 2.1 - 6.316 = -4.22$$

Nous obtenons la matrice L suivante : $L = [-7.74 \quad -4.22]$

Calcul du gain de précommande l_c :

$$G_F(0) = C(-A + BL)^{-1}Bl_c = \begin{bmatrix} \frac{K}{0.1001} & 0 \end{bmatrix} \left(- \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -9.99 & -6.316 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} [-7.74 \quad -4.22] \right)^{-1} \begin{bmatrix} 0 \\ l_c \end{bmatrix}$$

Cahier des charges n°2 :

On souhaite un dépassement $\leq 5 \%$.

Pour un système du second ordre, on sait que ξ correspond au coefficient d'amortissement et il est à l'origine du dépassement.

Calcul de ξ :

$$D = e^{\frac{\xi\pi}{\sqrt{1-\xi^2}}} \quad \text{Avec } D \leq 5 \%$$

En réalisant le calcul ci-dessus, on obtient $\xi = 0.7$

On souhaite également un temps de réponse égal à 0,5s.

$$\text{On sait que } tr = \frac{3}{w_n} \Leftrightarrow w_n = \frac{3}{tr}$$

Application numérique :

$$w_n = \frac{3}{0.5} = 6 \text{ rad/s} \quad \text{et} \quad w_n^2 = 36 \text{ rad/s}$$

Polynôme caractéristique :

$$s^2 + 2\xi w_n s + w_n^2 \Leftrightarrow s^2 + (2 * 0.7 * 6)s + 36 = s^2 + 8.4s + 36$$

Calcul de la loi de commande :

$$\begin{cases} dx = A \times x + B \times u \\ y = L \times x \end{cases} \quad \text{Avec } L = [l_0 \quad l_1]$$

En boucle fermée :

$$sI - (A - BL) = \begin{bmatrix} s & 0 \\ 0 & s \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -a_0 & -a_1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} [l_0 \quad l_1]$$

$$sI - (A - BL) = \begin{bmatrix} s & -1 \\ a_0 + l_0 & s + a_1 + l_1 \end{bmatrix}$$

$$\det[sI - (A - BL)] = s(s + a_1 + l_1) + a_0 + l_0 = s^2 + \underbrace{s(a_1 + l_1)}_{2\xi w_n s} + \underbrace{a_0 + l_0}_{w_n^2}$$

$$w_n^2 = a_0 + l_0$$

$$\Leftrightarrow 36 = 9.99 + l_0$$

$$\Leftrightarrow l_0 = 36 - 9.99 = 26.01$$

$$2\xi w_n = a_1 + l_1$$

$$\Leftrightarrow l_1 = 2\xi w_n - a_1$$

$$\Leftrightarrow l_1 = 8.4 - 6.316 = 2.09$$

Nous obtenons la matrice L suivante : $L = [26.01 \quad 2.09]$

Calcul du gain de précommande l_c :

$$G_F(0) = C(-A + BL)^{-1}Bl_c = \begin{bmatrix} \frac{K}{0.1001} & 0 \end{bmatrix} \left(- \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -9.99 & -6.316 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} [26.01 \quad 2.09] \right)^{-1} \begin{bmatrix} 0 \\ l_c \end{bmatrix}$$

3.4.2 Travail expérimental

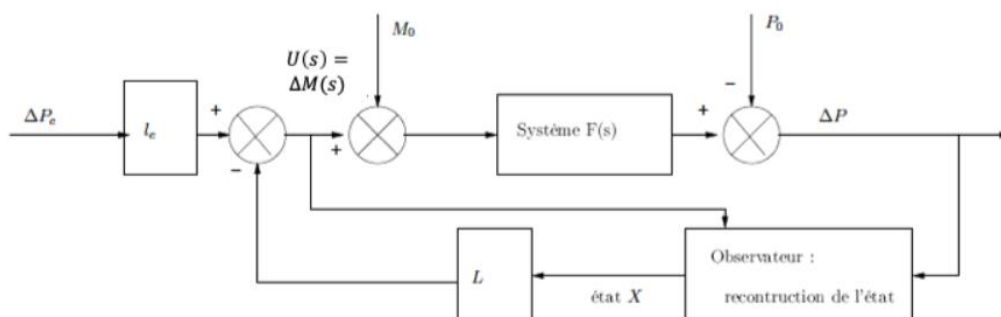


Figure 1515 - Schéma bloc du système en boucle fermée

On peut voir sur la courbe bleue qui correspond à l'échelon d'entrée du système qu'on a bien une première période correspondant à 80% de l'échelon puis au bout de 5 secondes une deuxième période correspondant à 90% de l'échelon.

La courbe jaune correspond à la réponse du système à cette entrée échelon. Après 14 secondes, la sortie redescend à 0 car on remplace l'entrée échelon par un 0 afin d'arrêter le système.

On peut voir que le gain du système se situe autour de 2.8 sur la première période et 5.7 sur la deuxième. On souhaite avoir un gain en sortie du système qui corresponde au gain en entrée. Pour se faire, on définit $K = \frac{1}{9} = 0.1111$, gain calculé en simulation précédemment.

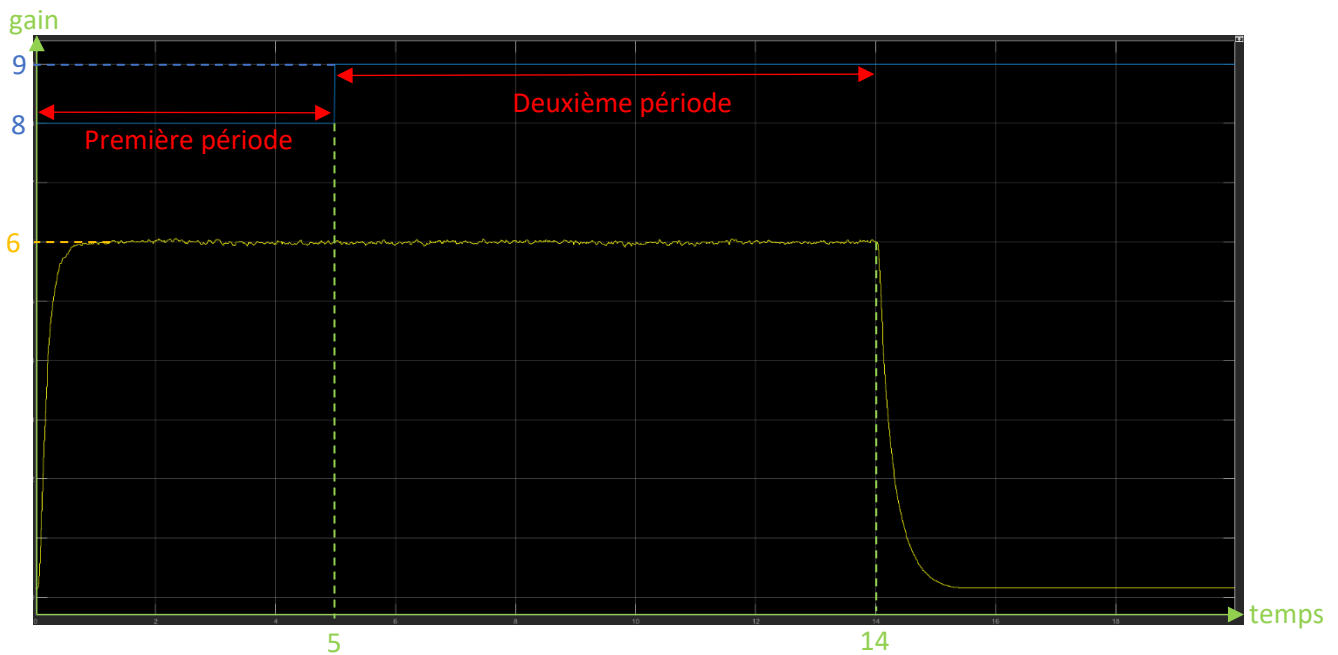


Figure 1818 - Réponse du système réel avec $K = 0.1111$

Comme précédemment, la courbe bleue correspond à l'entrée échelon du système et la courbe jaune correspond à la réponse de ce système. Les périodes sont les mêmes. On remarque que la courbe jaune ne présente pas de variations de gain entre la première période et la deuxième. La courbe pour les 2 périodes à un gain de 6, proche du gain durant la deuxième période lorsque $K = 1$. On émet donc l'hypothèse que le système sature et on fixe un nouveau gain $K = 0.05$ pour vérifier cette hypothèse. Après modification, le système se comporte de la même manière que lorsque le gain K valait $\frac{1}{9}$. Le système sature donc bien. Il n'est donc pas possible de vérifier que le retour d'état correspond bien à notre système car la maquette à un problème.

Conclure.

On suppose que l'actionneur de la maquette ne permet pas d'atteindre la valeur finale souhaitée à cause d'une saturation de ce dernier. Le moteur était surement trop sollicité et était au maximum de ses capacités.