

TD12

TD 12 / CORRIGER UN "VRAI" SYSTÈME

Objectifs pédagogiques

A la fin de cette thématique, les étudiant·e·s seront capables de :

- Schématiser une boucle d'asservissement
- Caractériser les performances d'un système en boucle ouverte et en boucle fermée
- Définir les paramètres d'un correcteur dans une boucle d'asservissement

Activités pédagogiques

- Lectures (hors temps présentiel - en ligne)
 - ▷ Fiche Résumé : Régime Harmonique
 - ▷ Fiche Résumé : Filtrage actif / Analyse harmonique / Ordre 2
- Séance de **TD11**
- Séance de **TD12**

Ressources Complémentaires

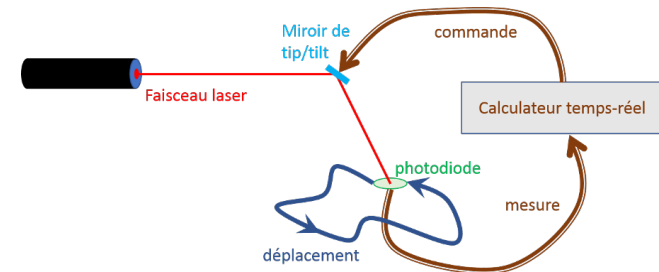
- Cours « Automatique » / Caroline Kulcsár - 2A Palaiseau

TD12

TD 12 / CORRIGER UN "VRAI" SYSTÈME

Système d'asservissement de position d'un faisceau LASER

Dans ce TD, on se propose d'étudier un **système réel**, son **modèle** et son **asservissement corrigé**.



Le système à étudier permet de positionner un **pointeur LASER** à l'aide de deux moteurs galvanométriques (eux-mêmes asservis en position) selon deux directions (X et Y). L'information est récupérée par une photodiode 4 quadrants.



Seule la voie X sera étudiée ici, les deux directions étant équivalentes.

Les moteurs galvanométriques sont pilotés à l'aide d'une tension et asservis en angle. Pour une tension donnée le « servomoteur » se positionnera à un angle particulier.

Le capteur de position (la photodiode 4 quadrants) renvoie une tension en lien avec la position du faisceau LASER.

Application à l'optique adaptative

Dans de nombreuses applications, on utilise des lasers dont le faisceau doit être pointé sur une cible avec une grande précision. Par exemple lorsque l'on crée des étoiles artificielles pour l'observation astronomique par optique adaptative, les étoiles artificielles doivent être créées à une certaine position angulaire et à une certaine altitude. La présence de l'atmosphère fait dévier le faisceau, et ces déviations peuvent être compensées par des petits miroirs plans dits de basculement (ou de tip/tilt) grâce à un asservissement utilisant la mesure des écarts à la position voulue.

Voir TP de 3A en optique adaptative.

Exercice 1 - Modèle du système**Notions abordées**

- ▷ Caractérisation en fréquence d'un système et identification de paramètres
- ▷ Lien avec la réponse à un échelon

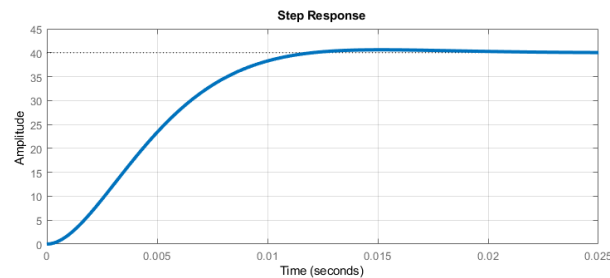
Il a été montré expérimentalement que le système complet (servomoteur) pouvait être modélisé par la relation suivante (dans sa zone de fonctionnement linéaire) :

$$T(p) = \frac{G_0}{1 + \frac{2m \cdot p}{w_c} + \frac{p^2}{w_c^2}}$$

Le capteur peut être modélisé par un simple gain qu'on notera $K_{capt} = 10$.

1. Tracez le schéma bloc du système.
2. De quel type est ce système ? Quelles sont les grandeurs d'entrée et de sortie des différents blocs ?

On donne le relevé expérimental de la réponse à un échelon de ce système :



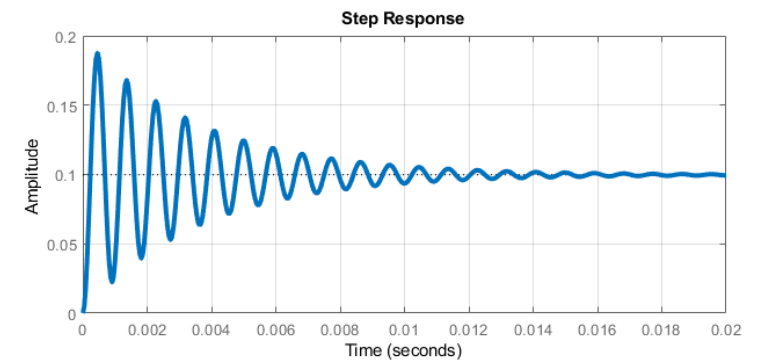
3. Identifiez le paramètre G_0 .
4. On obtient une valeur de $m = 0.8$ et de fréquence caractéristique $f_c = 55$ Hz. Est-ce cohérent avec la réponse obtenue ?
5. Tracez le diagramme de Bode de ce système.

Exercice 2 - Système asservi non corrigé**Notions abordées**

- ▷ Caractérisation en fréquence d'un système asservi

On souhaite maintenant étudier le système asservi, sans correcteur pour l'instant ($C(p) = 1$).

1. Quelle est la fonction de transfert en boucle fermée du système ?
2. Que valent les nouvelles caractéristiques de ce système (ordre, pulsation propre, amortissement...) ?
3. Tracez son diagramme de Bode.
4. La réponse à un échelon suivante est-elle celle de ce système ?

**Exercice 3 - Correcteur PID****Notions abordées**

- ▷ Caractérisation en fréquence d'un correcteur Proportionnel Intégral Dérivé

On souhaite corriger ce système avec un correcteur de type Proportionnel Intégral Dérivé (PID). Une forme, dite idéale, de ce correcteur est donné par la relation suivante :

$$C(p) = K \cdot \left(1 + \frac{1}{K_i \cdot p} + K_d \cdot p\right)$$

On ne s'intéressera pas ici au réglage de ce correcteur. Il existe pour cela différentes approches, dont celle de Ziegler-Nichols. Nous allons voir quel est l'intérêt des composantes proportionnelle et intégrale d'un correcteur.

1. Mettez ce système sous forme d'un schéma bloc.
2. Donnez la forme canonique de l'expression de $C(p)$.
3. Quelles sont les unités des coefficients K , K_i et K_d ?

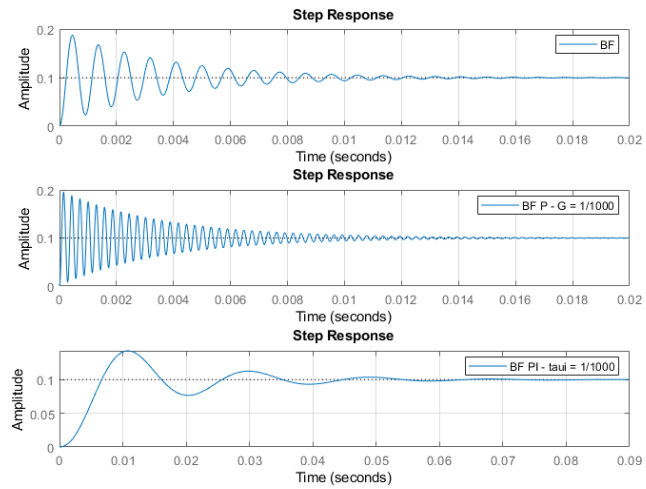
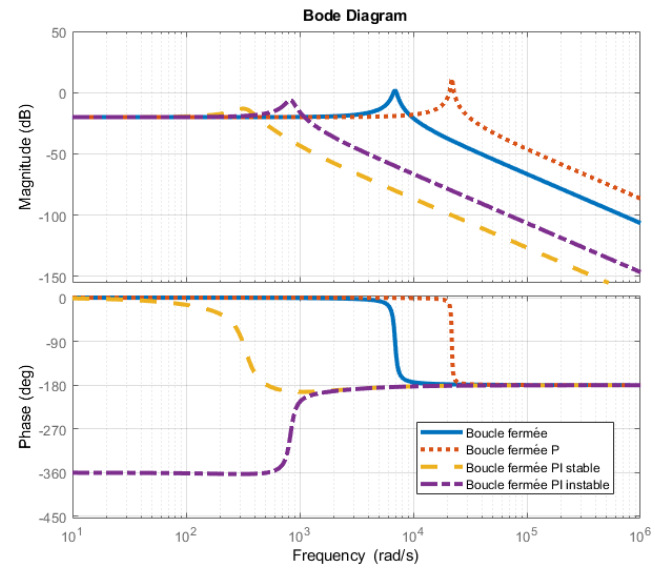
On commence par ajouter une composante K , les composantes intégrales et dérivées sont déconnectées.

4. Que devient la fonction de transfert en boucle fermée du système asservi et corrigé ? Que deviennent les grandeurs caractéristiques de ce système ?
5. Que valent ces valeurs pour $K = 10$? Pour $K = 0.1$?
6. Tracez les diagrammes de Bode de ces deux systèmes sur le même diagramme que précédemment.

On ajoute la composante intégrale au correcteur.

7. Que devient la fonction de transfert en boucle fermée du système asservi et corrigé ?

Selon le choix des coefficients K et K_i , le système peut être corrigé, mais peut également devenir instable...



TD13

TD 13 / METTRE EN MOUVEMENT / MOTEURS

Objectifs pédagogiques

A la fin de cette thématique, les étudiant·e·s seront capables de :

- Démontrer l'intérêt d'un pilotage numérique par modulation de largeur d'impulsion (MLI - PWM) d'un moteur à courant continu.
- Comprendre le rôle des transistors en commutation.
- Comprendre l'intérêt et le fonctionnement d'un pont en H.

Activités pédagogiques

- Cours introductif - parties Modéliser un système, Mettre en mouvement et Piloter un système
- Séance de **TD13**

TD13

TD 13 / METTRE EN MOUVEMENT / MOTEURS

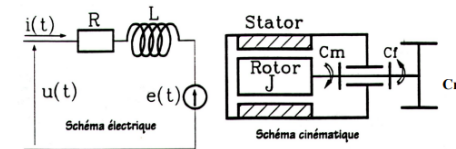
Exercice 1 - Moteur à courant continu

Notions abordées

- ▷ modélisation d'un moteur à courant continu

Modèle d'un moteur à courant continu

Il est possible de modéliser électriquement et mécaniquement un moteur à courant continu de la façon suivante :



Source : <http://s2i.chaptal.free.fr/>

Un moteur est un élément permettant de convertir une puissance électrique en une puissance mécanique. Le couple (C_m) est lié au courant (I) par une constante intrinsèque au moteur, notée K :

$$C_m = K \cdot I$$

La vitesse de rotation (Ω) est liée à la tension aux bornes du moteur (U) par cette même constante :

$$E = K \cdot \Omega$$

La puissance électrique (ou mécanique) vaut : $P_e = C \cdot \Omega = E \cdot I$

D'après le principe fondamental de la dynamique, il existe un lien entre le couple appliqué sur le rotor du moteur et la vitesse de rotation :

$$C_m - C_r - f \cdot \Omega = J \cdot p \cdot \Omega$$

où C_r correspond au couple résistant, f au coefficient de frottement visqueux, J à l'inertie du moteur.

En reliant toutes ces équations, on peut obtenir la fonction de transfert entre la vitesse de rotation du système (Ω) et la tension appliquée sur le stator (U) suivante :

$$H(p) = \frac{\Omega(p)}{U(p)} = \frac{K}{(J \cdot p + f) \cdot (R + L \cdot p) + K^2}$$

Exemple du moteur POLOLU 3239

20.4:1 Metal Gearmotor 25Dx62L mm MP 12V with 48 CPR Encoder



Pololu item #: 3239
Brand: Pololu

Key specifications:

voltage	no-load performance	stall extrapolation
12 V	370 RPM, 200 mA	3 kg·cm (42 oz·in), 2.1 A

This gearmotor consists of a **medium-power, 12 V** brushed DC motor combined with a **20.4:1** metal spur gearbox, and it has an integrated 48 CPR quadrature encoder on the motor shaft, which provides **979.62 counts per revolution** of the gearbox's output shaft. The gearmotor is cylindrical, with a diameter just under 25 mm, and the D-shaped output shaft is 4 mm in diameter and extends 12.5 mm from the face plate of the gearbox.

1. Quels sont les paramètres importants à prendre en compte ?
2. Les valeurs annoncées sont-elles cohérentes ?
3. Quelle est la valeur du coefficient K , lien entre la vitesse de rotation et la tension aux bornes du moteur ?

Dimensions

Size:	25D x 62L mm ¹
Weight:	98 g
Shaft diameter:	4 mm

Notes:

- 1 Length does not include the motor shaft.
- 2 This motor will run at 6 V but is intended for operation at 12 V.



General specifications

Gear ratio:	20.4:1
No-load speed @ 12V:	370 rpm
No-load current @ 12V:	200 mA
Stall current @ 12V:	2100 mA
Stall torque @ 12V:	42 oz·in
No-load speed @ 6V:	185 rpm ²
Stall current @ 6V:	1050 mA ²
Stall torque @ 6V:	21 oz·in ²
Motor type:	2.1A stall @ 12V (MP 12V)

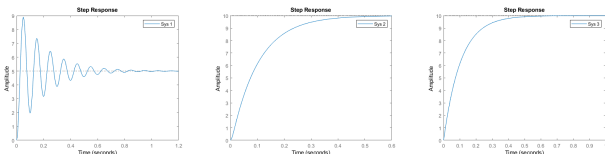
Modèle simplifié d'un MCC

Il est possible de simplifier le modèle précédent, en faisant l'hypothèse que le temps de réponse de la partie électrique (dont la constante de temps sera notée τ_e) est plus petit que le temps de réponse mécanique (dont la constante de temps sera notée τ_m).

$$H(p) = \frac{K_0}{(1 + \tau_m \cdot p) \cdot (1 + \tau_e \cdot p)}$$

Avec $\tau_m = R \cdot J / (K^2 + R \cdot f)$, $\tau_e = L / R$ et $K_0 = K / (K^2 + R \cdot f)$

1. Cette hypothèse est-elle vérifiée si on prend comme valeurs : $K = 0.1 \text{ Nm/A}$ (ou en V/rad/s), $J = 0.01 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$, $L = 0.5 \text{ mH}$ et $R = 0.1 \Omega$ (en absence de frottement) ?
2. Ce système est-il stable ?
3. Parmi les réponses indiciaires suivantes, laquelle correspond à ce système ?



Exercice 2 - Variation de vitesse

Notions abordées

- ▷ pilotage d'un moteur à courant continu

Variation analogique de la vitesse de rotation

Proposez une solution pour pouvoir piloter analogiquement ce système en vitesse : (a) dans un sens, (b) dans les deux directions.

Réponse

- (a) Il faut faire varier la valeur de la tension aux bornes du moteur. On peut le faire via un système de rhéostat (ou potentiomètre de puissance). Mais attention à la puissance mise en jeu... On ne peut pas négliger la valeur du courant transitant dans le moteur...
- (b) il faut pouvoir inverser le sens de la tension au niveau des bornes du moteur. Relai ? Interrupteur ?

Variation numérique de la vitesse de rotation

On se propose à présent de piloter ce système de manière numérique.

1. Comment est-il possible de faire varier la vitesse de rotation numériquement ?
2. Quel est l'intérêt d'un tel mode de fonctionnement ?
3. Proposez un montage, basé sur le pilotage par carte Nucléo, d'un MCC dans une direction.
4. Proposez un programme pour le pilotage par carte Nucléo d'un MCC dans une direction.
5. Comment est-il possible de piloter ce MCC dans les deux sens de rotation ?

On se propose d'utiliser le composant L293D (voir partie de la documentation technique en annexe).

6. Proposez un montage, basé sur le pilotage par carte Nucléo, d'un MCC dans les deux directions.
7. Proposez un programme pour le pilotage par carte Nucléo d'un MCC dans les deux directions.

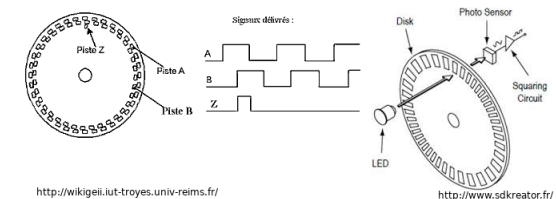
Exercice 3 - Mesure de vitesse et de position

Notions abordées

- ▷ encodeur optique

1. Proposez une solution de mesure de vitesse de rotation.

On se propose d'utiliser un encodeur tel que proposé dans la figure suivante :



2. Proposez une méthode pour mesurer la vitesse de rotation.

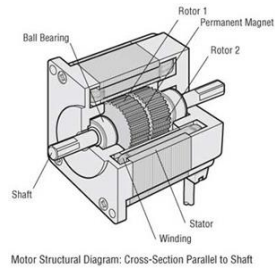
3. Comment connaître le sens de rotation ? La position ?

Exercice 4 - Moteur pas à pas**Notions abordées**

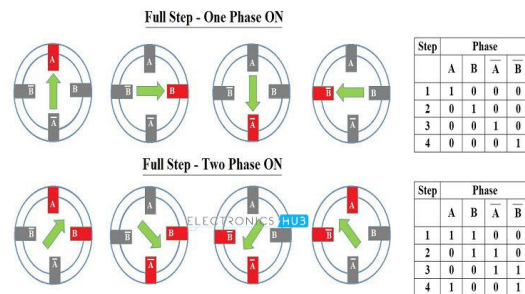
- ▷ principe de fonctionnement d'un moteur pas à pas
- ▷ pilotage d'un moteur pas à pas

Principe de fonctionnement d'un moteur pas à pas

Un moteur pas à pas est constitué de 2 bobines séparées d'un certain angle. En alimentant indépendamment les deux bobines, on vient modifier la direction du champ magnétique résultant.



Pour avancer d'un pas, il suffit alors de suivre le protocole suivant :



1. Quel est l'intérêt d'un tel moteur ?
2. Comment le faire tourner dans l'autre sens ?
3. Quel est l'intérêt du deuxième mode de fonctionnement proposé ?
4. Peut-on combiner les deux ?

Pilotage numérique

1. Proposez un câblage pour pouvoir piloter ce moteur pas à pas à l'aide du pont en H L293D.
2. Proposez un programme pour le pilotage par carte Nucléo d'un moteur pas à pas dans les deux directions.

TD14

TD 14 / GÉNÉRER UN SIGNAL PÉRIODIQUE

Objectifs pédagogiques

A la fin de cette thématique, les étudiant-e-s seront capables de :

- Décrire les fonctionnalités liées à la génération numérique de signaux périodiques
- Différencier les composants numériques de logique combinatoire et de logique séquentielle

Activités pédagogiques

- Séances de **TP du Thème 2** (microcontrôleur)
- Séance de **TD14**

TD14

TD 14 / GÉNÉRER UN SIGNAL PÉRIODIQUE

Exercice 1 - Génération de signaux numériques

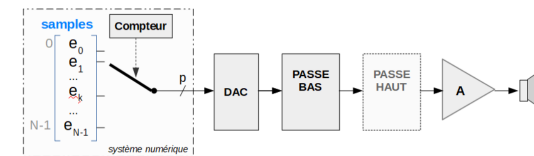
Notions abordées

- ▷ Génération d'un signal à l'aide d'un microcontrôleur.

On souhaite obtenir un signal sinusoïdal à une fréquence de 5 kHz.

1. Proposez une solution « simple » pour répondre à ce cahier des charges (sans utiliser de GBF).

On s'intéresse au schéma fonctionnel suivant :



2. Expliquez à quoi servent les différents blocs.

On souhaite un minimum de 16 points par période.

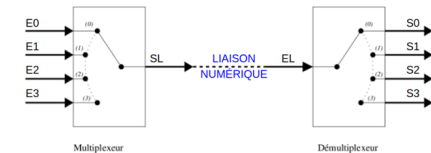
3. Quelle est la fréquence minimale à laquelle doivent être produits les échantillons ?
4. Proposez une méthode pour générer le tableau d'échantillons.

Exercice 2 - Multiplexeurs / Démultiplexeurs

Notions abordées

- ▷ Etude d'un composant standard de la logique combinatoire

On souhaite utiliser un système de multiplexage pour pouvoir transporter des informations numériques à l'aide d'un minimum de fils de transmission (voir schéma suivant - pour 4 émetteurs et 4 récepteurs).



La ligne sera alors occupée par chacun des émetteurs de manière équitable (à savoir 1/4 du temps pour le cas de 4 émetteurs). On parle alors de multiplexage temporel.

1. Rappelez le fonctionnement d'un multiplexeur et d'un démultiplexeur. On s'intéressera en particulier aux entrées de contrôle (non présentes sur le schéma).

