

TD9

TD 9 / MODÉLISER ET CORRIGER DES SYSTÈMES

Objectifs pédagogiques

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

- Modéliser un système linéaire du premier et deuxième ordre
- Analyser le fonctionnement d'un système linéaire de manière asymptotique
- Montrer le changement de comportement d'un système linéaire rebouclé

Activités pédagogiques

- Lectures (hors temps présentiel - en ligne)
 - ▷ TD2 du semestre 5 : Réaliser un étage de pré-amplification
 - ▷ Fiche résumé : Systèmes linéaires
 - ▷ Fiche résumé : Régime Harmonique
 - ▷ Fiche résumé : Analyse Harmonique / Ordre 1
 - ▷ Fiche résumé : Analyse Harmonique / Ordre 2
- Séance de **TD9**
- Séances de TP (module TP CéTI)

Ressources Complémentaires

- Modélisations sous MATLAB (<http://lense.institutoptique.fr/simuler/>) :
 - ▷ Système linéaire du premier ordre : Modèle d'un Amplificateur Linéaire Intégré
 - ▷ Système linéaire du premier ordre : Mesure à l'oscilloscope et sonde compensée

TD9

TD 9 / MODÉLISER ET CORRIGER DES SYSTÈMES

Exercice 1 - Amplificateur Linéaire Intégré et rebouclage

Notions abordées

- ▷ Modélisation d'un Amplificateur Linéaire Linéaire - ordre 1
- ▷ Intérêt du rebouclage d'un ALI

Modèle de l'ALI en boucle ouverte

On peut modéliser un amplificateur linéaire intégré par un système du premier ordre de type :

$$A(p) = \frac{V_S(p)}{\varepsilon(p)} = \frac{A_0}{1 + \frac{p}{\omega_c}}$$

où $V_S(p)$ est la tension de sortie de l'ALI et $\varepsilon(p) = V^+(p) - V^-(p)$ la tension différentielle d'entrée.

1. Quelle relation existe-t-il entre A_0 , ω_c et GBP (le produit gain bande-passante de l'ALI) ?
2. Tracez la réponse en fréquence asymptotique en gain de ce système.
3. Calculez le gain statique et la pulsation (ou fréquence) caractéristique de ce système si on suppose que $A_0 = 10^5$ et $GBP = 3 \text{ MHz}$?

Rebouclage en suiveur

1. Proposez un schéma bloc pour un **montage suiveur**.
2. Calculez la fonction de transfert en boucle fermée de ce montage.
3. Que valent à présent le gain statique et la pulsation caractéristique de ce système (pour les mêmes valeurs de A_0 et GBP) ?
4. Tracez la réponse en fréquence de ce nouveau système.

Exercice 2 - Sonde compensée pour oscilloscope

Notions abordées

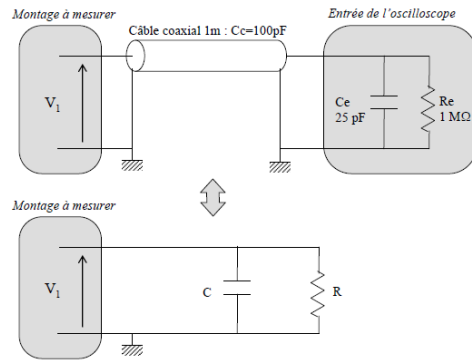
- ▷ Modélisation d'un oscilloscope
- ▷ Intérêt d'une sonde compensée

A - Modèle de l'oscilloscope

L'entrée de mesure d'un oscilloscope est généralement modélisée par un dipôle constitué d'une résistance R_e de $1 \text{ M}\Omega$ en parallèle avec un condensateur ayant une capacité C_e de 25 pF (cette valeur peut varier légèrement d'un type d'oscilloscope à un autre).

Par ailleurs, le câble coaxial utilisé pour relier le point de mesure à l'oscilloscope présente une capacité parasite C_c de 100 pF (pour 1 m de câble). On négligera la résistance du câble devant R_e .

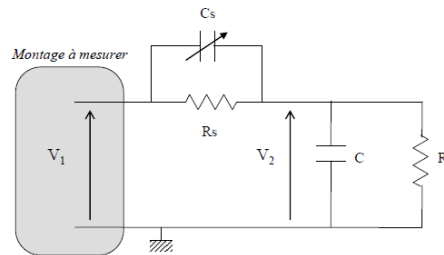
L'ensemble oscilloscope + câble coaxial peut donc être modélisé par un dipôle RC comme représenté ci-dessous.



Déterminez les valeurs de R et de C du modèle équivalent.

B - Sonde compensée

L'impédance du dipôle de mesure peut donner une **mesure erronée** de la tension V_1 . C'est pourquoi il convient d'utiliser une sonde correctement réglée afin d'augmenter l'impédance du dipôle de mesure. Cette sonde est constituée d'un câble coaxial analogue au précédent et d'une tête de sonde comprenant une résistance R_s de 9 MΩ en parallèle avec un condensateur C_s variable entre 5 et 50 pF. Le schéma complet du montage est alors le suivant.



1. Faites une étude asymptotique du montage lorsque ω tend vers 0 et vers l'infini. En déduire le comportement du montage pour ces deux cas extrêmes.
2. Calculez la fonction de transfert $T(j\omega) = V_2/V_1$ de ce montage.
3. Tracez le diagramme asymptotique de Bode en amplitude et en phase de $T(j\omega)$ pour $C_s = 5$ pF.
4. Tracez le diagramme asymptotique de Bode en amplitude et en phase de $T(j\omega)$ pour $C_s = 50$ pF.
5. Quelle valeur faut-il donner à C_s pour que la tension V_2 soit proportionnelle à la tension V_1 quelque soit la fréquence du signal alternatif sinusoïdal à mesurer ?
6. Exprimez l'impédance d'entrée de l'ensemble « sonde + oscilloscope » vue des bornes de la tension V_1 .

TD10

TD 10 / MODÉLISER UN MONTAGE TRANSIMPÉDANCE

Objectifs pédagogiques

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

- Modéliser un montage de photodétection de type transimpédance

Activités pédagogiques

- Lectures (hors temps présentiel - en ligne)
 - ▷ TD7 du Semestre 5 : Détecter des photons
 - ▷ Fiche résumé : Analyse Harmonique / Ordre 1
 - ▷ Fiche résumé : Analyse Harmonique / Ordre 2
 - ▷ Fiche résumé : Photodétection
- Séance de **TD10**
- Séances de TP (module TP CéTI)

Ressources Complémentaires

- Modélisations sous MATLAB (<http://lense.institutoptique.fr/simuler/>) :
 - ▷ Photodétection : Comparaison entre système de photodétection simple et transimpédance
 - ▷ Photodétection : Montage transimpédance / Réponse en fréquence
 - ▷ Photodétection : Montage transimpédance / Comparaison

TD10

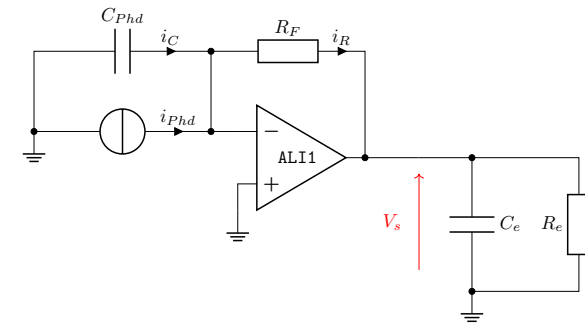
TD 10 / MODÉLISER UN MONTAGE TRANSIMPÉDANCE

Exercice 1 - Montage transimpédance - Etude simple

Notions abordées

- ▷ Modélisation d'une photodiode et d'un oscilloscope
- ▷ Intérêt de l'ALI pour un système de photodétection

On considère le montage récepteur à photodiode suivant. L'amplificateur linéaire intégré (ALI) est alimenté en $\pm 15\text{ V}$. On note $\Phi_{lum}(t)$ le flux lumineux reçu par la photodiode et k sa sensibilité.



1. A quoi correspondent les différents éléments de ce montage ?
2. Dans quel mode de fonctionnement est l'ALI ?
3. Exprimez la tension de sortie $V_S(f)$ en fonction de i_{Phd} et des éléments du montage.

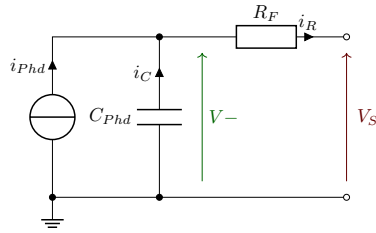
Exercice 2 - Montage de contre-réaction

Notions abordées

- ▷ Filtre linéaire

On étudie le montage suivant :

1. Calculez les courants i_R et i_C en fonction des éléments du montage.
2. Quel est le lien entre i_R , i_C et i_{Phd} ?
3. Que vaut alors V^- en fonction de V_S et i_{Phd} ?
4. Dans le cas où $i_{Phd} = 0$, quel est le comportement en fréquence du système entre V_S et V^- ?

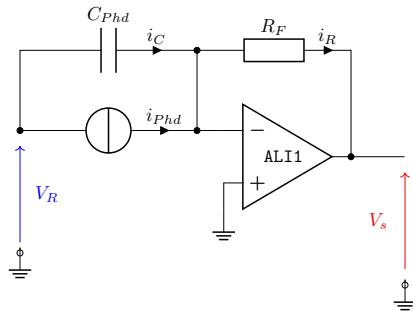


Exercice 3 - Transimpédance et modèle du premier ordre pour l'ALI

Notions abordées

- ▷ Modèle de l'ALI du premier ordre
- ▷ Système linéaire

Soit le montage suivant :



On modélisera l'ALI par son modèle du premier ordre :

$$A(j \cdot \omega) = \frac{A_0}{1 + \frac{j\omega}{\omega_0}}$$

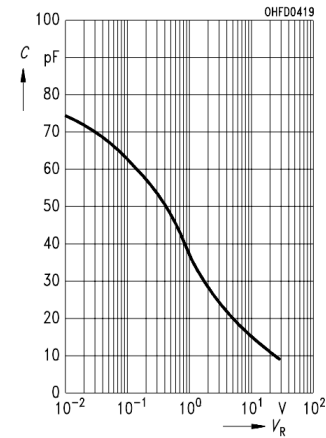
où A_0 est l'amplification différentielle statique et $\omega_0 = \frac{GBP}{A_0}$ la pulsation de coupure, avec GBP la bande-passante unitaire.

1. Que vaut V_S en fonction de V^+ et V^- ?
2. Quel est le lien avec le montage de l'exercice 2 ?
3. Que vaut alors V_S en fonction de i_{Ph_d} ?
On notera $\omega_c = \frac{1}{R_F \cdot C_{Ph_d}}$ et $K = \frac{A_0}{1 + A_0}$.
4. Quelle est la fonction de transfert de ce montage ?
5. Calculez les valeurs de la pulsation propre ω_T , le facteur d'amortissement m_T et le gain statique G_T de ce système.
6. Que deviennent ces valeurs si on suppose que $A_0 \gg 1$?

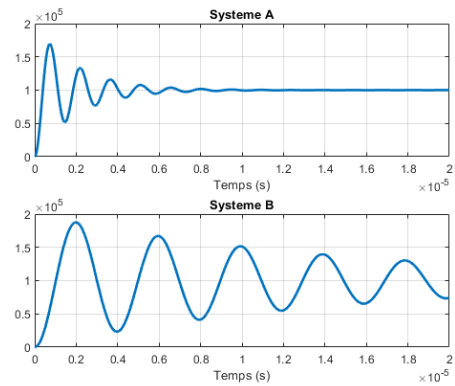
On prendra les valeurs suivantes pour la suite :

$A_0 = 2 \cdot 10^5$, $GBP = 3 \text{ MHz}$, $R_F = 100 \text{ k}\Omega$ et une photodiode de type SFH206 (dont une courbe caractéristique est donnée ci-après).

Capacitance



7. Que valent ω_T et m_T pour $V_R = 0 \text{ V}$? Pour $V_R = 30 \text{ V}$?
8. Quelles formes ont les réponses en fréquence pour ces deux valeurs de tension de polarisation ?
9. Parmi les deux réponses indicelles suivantes, laquelle est celle pour $V_R = 0 \text{ V}$? Pour $V_R = 30 \text{ V}$?



TD11

TD 11 / ASSERVIR UN SYSTÈME

Objectifs pédagogiques

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

- Schématiser une boucle d'asservissement
- Différencier les performances d'un système en boucle ouverte et en boucle fermée
- Rappeler le rôle d'un correcteur dans une boucle d'asservissement

Activités pédagogiques

- Lectures (hors temps présentiel - en ligne)
 - ▷ TD2 du semestre 5 : Réaliser un étage de pré-amplification
 - ▷ Fiche Résumé : Amplificateur Linéaire Intégré
- Séance de **TD11**
- Séance de **TD12**

Ressources Complémentaires

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

TD11

TD 11 / ASSERVIR UN SYSTÈME

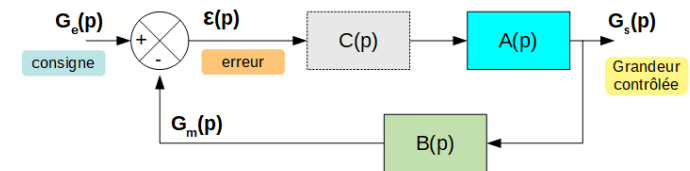
Exercice 1 - Boucle ouverte et boucle fermée

Notions abordées

- ▷ Modélisation d'un Amplificateur Linéaire Linéaire - ordre 1
- ▷ Intérêt du rebouclage d'un ALI

Boucle ouverte et boucle fermée

On s'intéresse au système bouclé suivant :



où :

- $A(p)$: système à asservir
- $B(p)$: système de mesure (retour) de la grandeur à asservir
- $C(p)$: correcteur de l'asservissement
- $G_e(p)$: grandeur physique de consigne
- $G_s(p)$: grandeur physique de sortie
- $\varepsilon(p)$: erreur entre la consigne et la sortie

Boucle ouverte

1. Calculez la fonction de transfert en boucle ouverte : $TF_{BO}(p) = \frac{G_m(p)}{\varepsilon(p)}$
2. Calculez la fonction de transfert en boucle fermée, entre la consigne et la grandeur contrôlée : $TF_{BF}(p) = \frac{G_s(p)}{G_e(p)}$
On notera $L(p) = A(p) \cdot B(p) \cdot C(p)$.
3. Que devient l'expression précédente $TF_{BF}(p)$?
4. Ce système peut-il être instable ?
5. Est-ce qu'un système d'ordre 1 non corrigé mais rebouclé peut devenir instable ? Un système d'ordre supérieur à 1 ?

Boucle fermée

En boucle fermée, on désire que le système :

- suive la consigne en régime établi (précision)
- élimine les perturbations (rejet des perturbations)
- ait une dynamique rapide

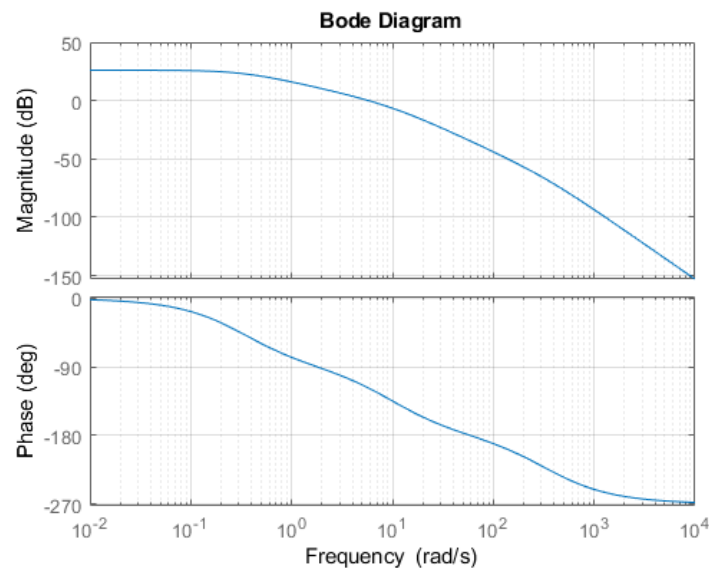
Stabilité d'un système

Certains systèmes bouclés peuvent devenir instable si la fonction de transfert en boucle ouverte devient réelle (pour certaines fréquences) et de valeur inférieure à -1. En ajoutant des éléments correcteurs, il est possible de modifier le comportement et ainsi éviter que le système ne devienne instable, tout en essayant de le rendre plus rapide et plus robuste.

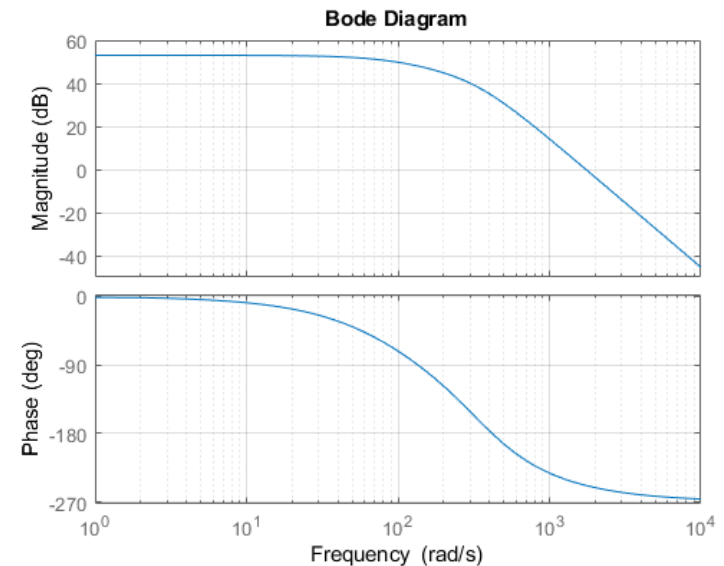
Pour estimer les risques d'instabilité, on s'intéresse aux marges de gain et de phase d'un système en boucle ouverte, qui déterminera ensuite sa robustesse en boucle fermée.

Le point critique à ne pas franchir est le point -1, c'est à dire la pulsation pour laquelle $|L(p)| = 1 = 0dB$ et $\arg(L(p)) = -\pi$.

On propose d'étudier le système dont on donne le diagramme de Bode suivant :



1. Mesurez les marges de gain et de phase et concluez sur sa stabilité en boucle fermée.
2. Qu'en est-il de ce nouveau système dont on donne le diagramme de Bode ?



Correction d'un système

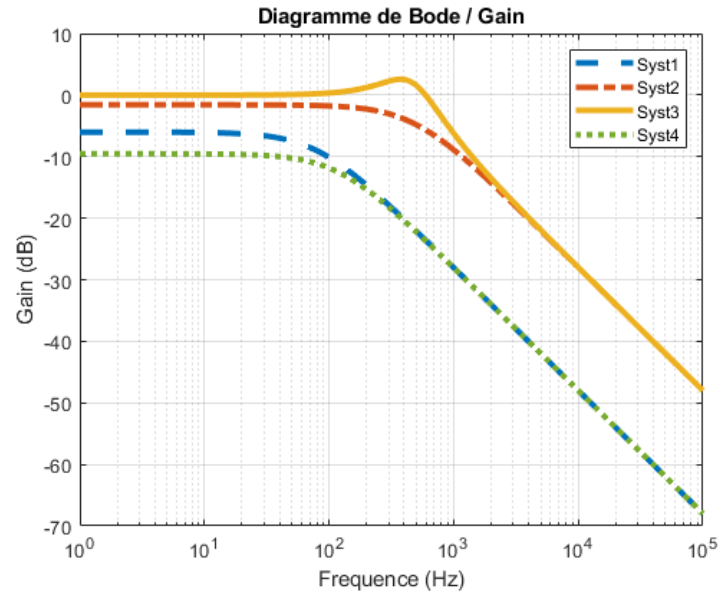
Dans cette partie, on utilisera comme exemple un système du premier ordre de la forme :

$$H(p) = \frac{H_0}{1 + \tau \cdot p}$$

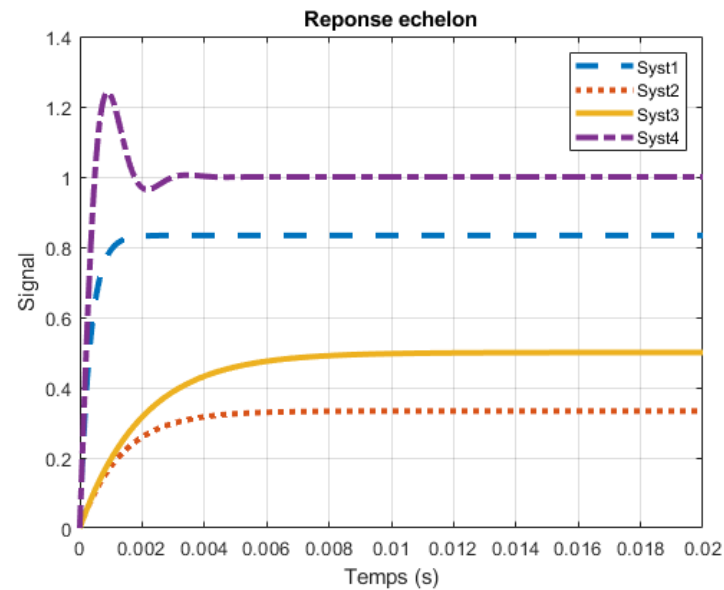
On prendra $H_0 = 0.5$ et $\tau = 2 \cdot 10^{-3}$

1. Parmi les réponses en fréquence proposées par la suite, laquelle correspond :

- (a) au système en boucle ouverte
- (b) au système en boucle fermée, avec un retour unitaire ($B(p) = 1$) et sans correction ($C(p) = 1$)
- (c) au système en boucle fermée, avec un retour unitaire ($B(p) = 1$) et une correction proportionnelle ($C(p) = G$ avec $G = 10$)
- (d) au système en boucle fermée, avec un retour unitaire ($B(p) = 1$) et une correction proportionnelle et intégrale ($C(p) = G + 1/(\tau_i \cdot p)$ avec $G = 10$ et $\tau_i = 3 \cdot 10^{-5}$)



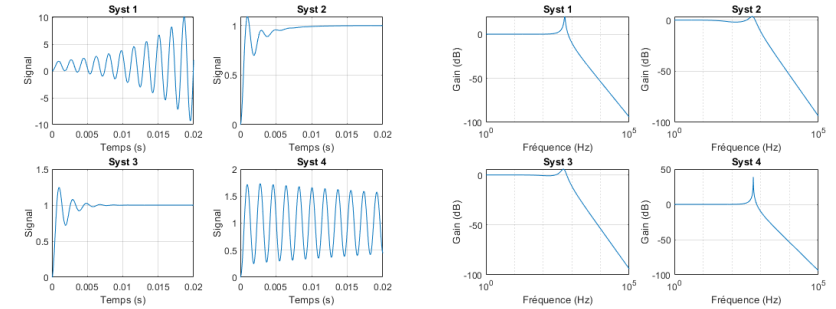
2. Même question avec les réponses indicielles suivantes.



Correction et stabilité

On se base sur le système précédent, $H(p) = \frac{H_0}{1+\tau_i p}$, rebouclé de manière unitaire ($B(p) = 1$) et une correction proportionnelle et intégrale ($C(p) = G + 1/(\tau_i \cdot p)$ avec $G = 10$).

Précisez si la correction intégrale est bien choisie dans les 4 cas suivants (réponse indicielle et réponse fréquentielle).



Exercice 2 - Exemple 1 : Amplificateur non-inverseur

Notions abordées

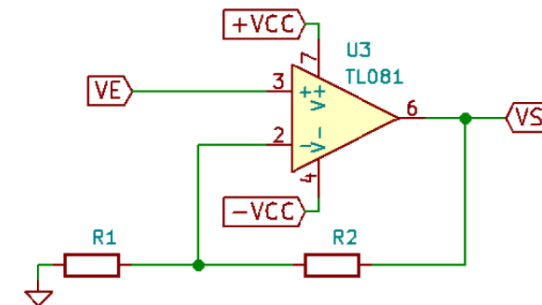
▷ Système rebouclé basé sur les ALI

On rappelle qu'un ALI (Amplificateur Linéaire Intégré) peut être modélisé par une fonction de transfert du premier ordre du type :

$$A(p) = \frac{A_0}{1 + \frac{p}{\omega_0}}$$

où A_0 est l'amplification différentielle statique et $\omega_0 = \frac{GBP}{A_0}$ la pulsation de coupure, avec GBP la bande-passante unitaire.

On réalise autour de cet ALI un montage non-inverseur, dont le schéma est donné par la suite.

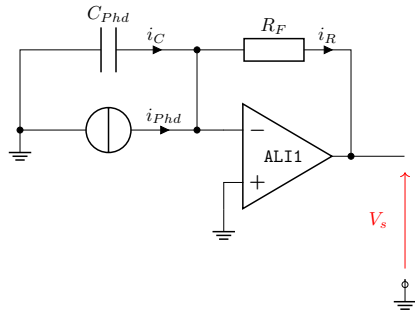


- Proposez un schéma bloc pour un **montage amplificateur non-inverseur**.
- Calculez la fonction de transfert en boucle fermée de ce montage.
- Que valent à présent le gain statique et la pulsation caractéristique de ce système (pour les mêmes valeurs de A_0 et GBP) ?

Exercice 3 - Exemple 2 : Montage transimpédance**Notions abordées**

▷ Modélisation du montage transimpédance

On propose le montage transimpédance suivant :



On rappelle la fonction de transfert obtenue au TD précédent :

$$\frac{V_S}{i_{Phd}} = K \cdot \frac{R_F}{1 + p \cdot \frac{1}{1+A_0} \left(\frac{\omega_c + \omega_0}{\omega_c \cdot \omega_0} \right) + (p)^2 \cdot \frac{1}{1+A_0} \cdot \frac{1}{\omega_c \cdot \omega_0}}$$

où $\omega_0 = GBP/A_0$, $\omega_c = \frac{1}{R_F \cdot C_{Phd}}$ et $K = \frac{A_0}{1+A_0}$

Il est possible de la mettre sous la forme d'un système rebouclé.

1. Que valent alors les blocs $A(p)$ et $B(p)$?

On rappelle le résultat d'un précédent TD :

$$V^- = (V_S + R_F \cdot i_{Phd}) \cdot \frac{1}{1 + p \cdot R_F \cdot C_{Phd}}$$

2. Ce système peut-il devenir instable ?

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

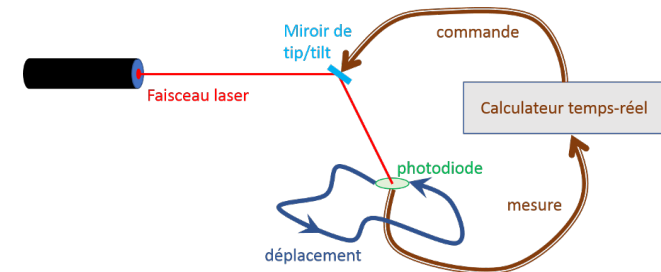
- Cours « Automatique » / Caroline Kulcsár - 2A Palaiseau

TD12

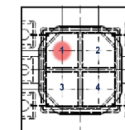
TD 12 / CORRIGER UN "VRAI" SYSTÈME

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

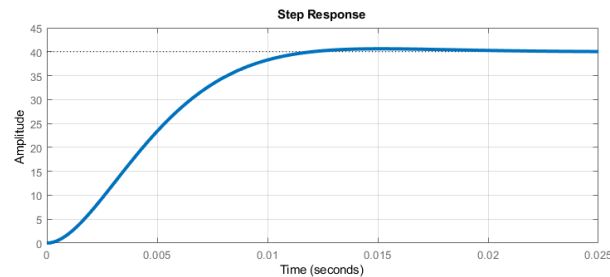
Il a été montré expérimentalement que le système complet (servomoteur) pouvait être modélisé par la relation suivante (dans sa zone de fonctionnement linéaire) :

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

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 :



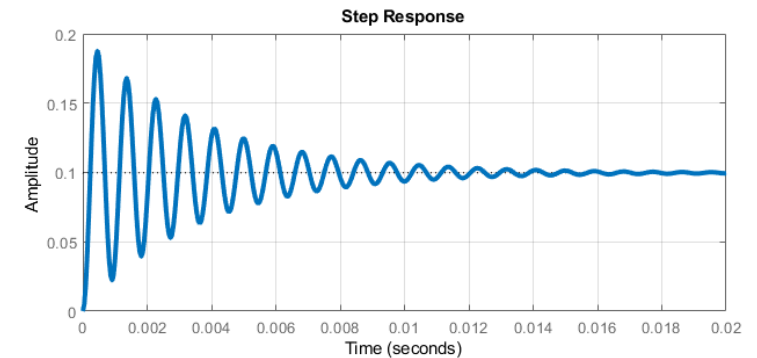
3. Identifiez le paramètre G_0 .
4. On obtient une valeur de $m = 0.8$ et de fréquence caractéristique $f_c = 55$ Hz. Est-ce cohérent avec la réponse obtenue ?
5. Tracez le diagramme de Bode de ce système.

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 ?

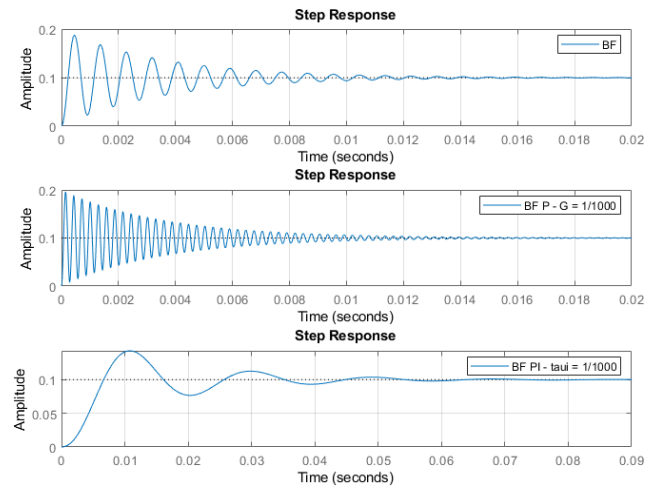
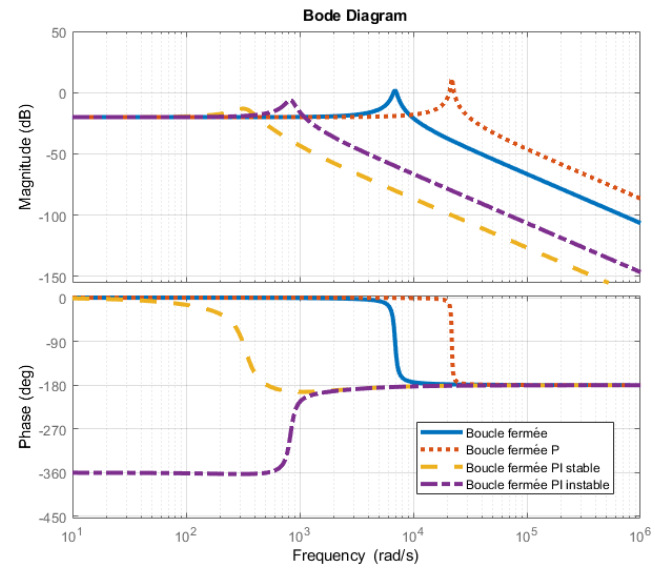
On commence par ajouter une composante K , les composantes intégrales et dérivées sont déconnectées.

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

À 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

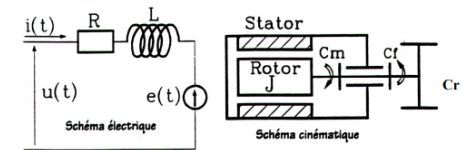
Exercice 1 - Moteur à courant continu

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

www.pololu.com

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.



www.pololu.com

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)

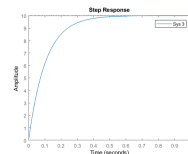
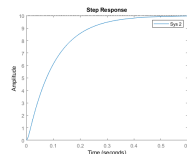
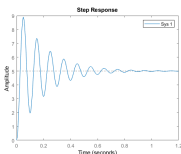
Modèle simplifié d'un MCC

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 transisant 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.

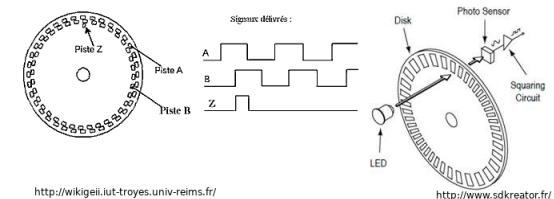
Exercice 3 - Mesure de vitesse et de position

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 ?

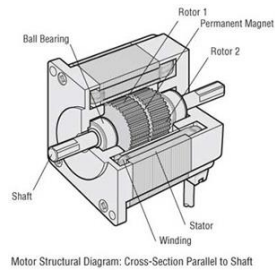
Exercice 4 - Moteur pas à pas

Notions abordées

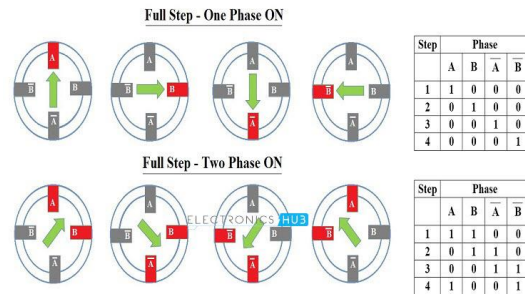
- ▷ principe de fonctionnement d'un moteur pas à pas
- ▷ pilotage d'un moteur pas à pas

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

À 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

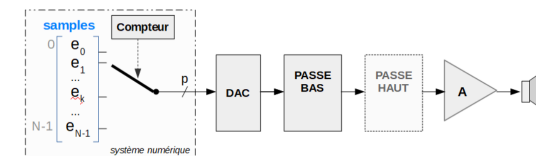
Notions abordées

- ▷ 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.

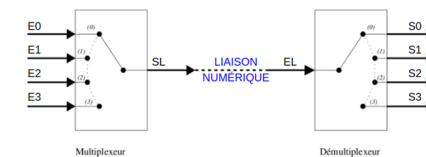
3. Quelle est la fréquence minimale à laquelle doivent être produits les échantillons ?
4. Proposez une méthode pour générer le tableau d'échantillons.

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).

2. Quel élément faut-il alors ajouter pour que l'entrée E0 soit systématiquement transmise à la sortie S0, l'entrée E1 à la sortie S1, etc. ?
3. Si on souhaite transmettre les informations à une vitesse de 40 MHz, à quelle vitesse doit-on faire changer les entrées du multiplexeur et les sorties du démultiplexeur ?
4. Quels signaux doivent également être transmis entre l'émetteur et le récepteur ?

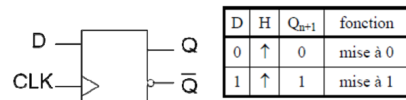
Exercice 3 - Compteur / Diviseur de fréquence

Notions abordées

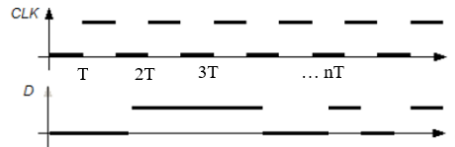
- ▷ Etude des composants standards de la logique séquentielle

Bascule D / Séquentielle

On donne la « table de vérité » d'une bascule D ci-dessous.

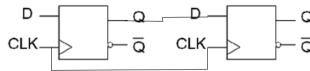


Pour un chronogramme de D comme le suivant (avec ici une horloge périodique), tracer superposé au diagramme de D le chronogramme de la sortie, $Q(t)$, d'une autre couleur de crayon. Y a-t-il besoin de tracer l'autre sortie ?



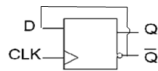
Mise en cascade

On cascade deux bascules D comme suit :



1. Montrez le fonctionnement de ce système. Quel est son rôle ?
2. Généralisez à N bascules.

On boucle à présent une bascule D sur elle-même.



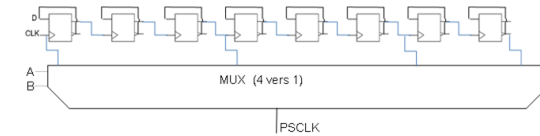
3. Quelle est la fréquence observée sur la sortie Q si CLK est périodique ? Dépend-elle du rapport cyclique de CLK ?
4. Que se passe-t-il si on cascade plusieurs blocs de ce type ? Généralisez à N bascules.

Exercice 4 - Fonctionnement d'un Ticker

Notions abordées

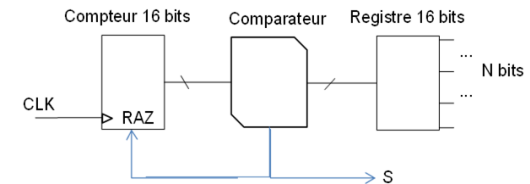
- ▷ Étude de compteurs paramétrables

On s'intéresse au schéma ci-après :



1. Que fait le dispositif « PSC » au signal CLK en fonction des deux entrées du MUX, A et B ? (huit bascules D avec sorties Q et complémentaire)

On s'intéresse à présent au système suivant :



2. Que produit sur sa sortie S le dispositif CNTN ci-contre en fonction de CLK et de N ?
On implémente la chaîne suivante : $f_0 = \text{CLK}$ puis $\text{PSC}(\text{AB})$ puis $\text{CNTN}(\text{b15}...\text{b0})$ puis signal S
La fréquence de l'horloge d'entrée est $f_0 = 14 \text{ MHz}$.
3. Quelles sont les fréquences accessibles sur S via le choix de N, pour $\text{ABb} = 00$? Même question pour les trois autres choix de ABb ?
4. Combien de façon y a-t-il de réaliser les fréquences de signal S suivantes : $f_S = 200 \text{ Hz}$, 20 Hz , 2 Hz ?
5. Quel est l'avantage (en termes de marge de modification) de viser la plus grande division de PSC ? de viser la plus petite ?