TD11

TD 11 / ASSERVIR UN SYSTÈME

Objectifs pédagogiques

A 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

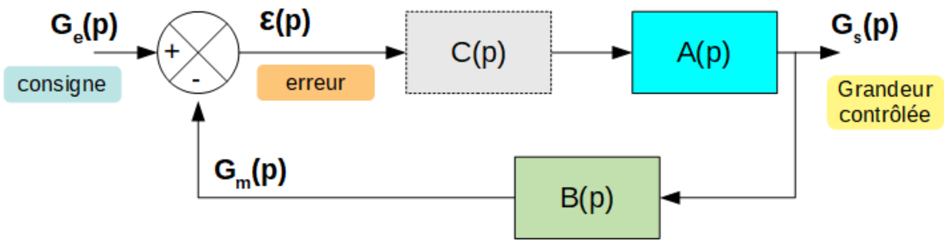
Exercice 1 - Boucle ouverte et boucle fermée

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

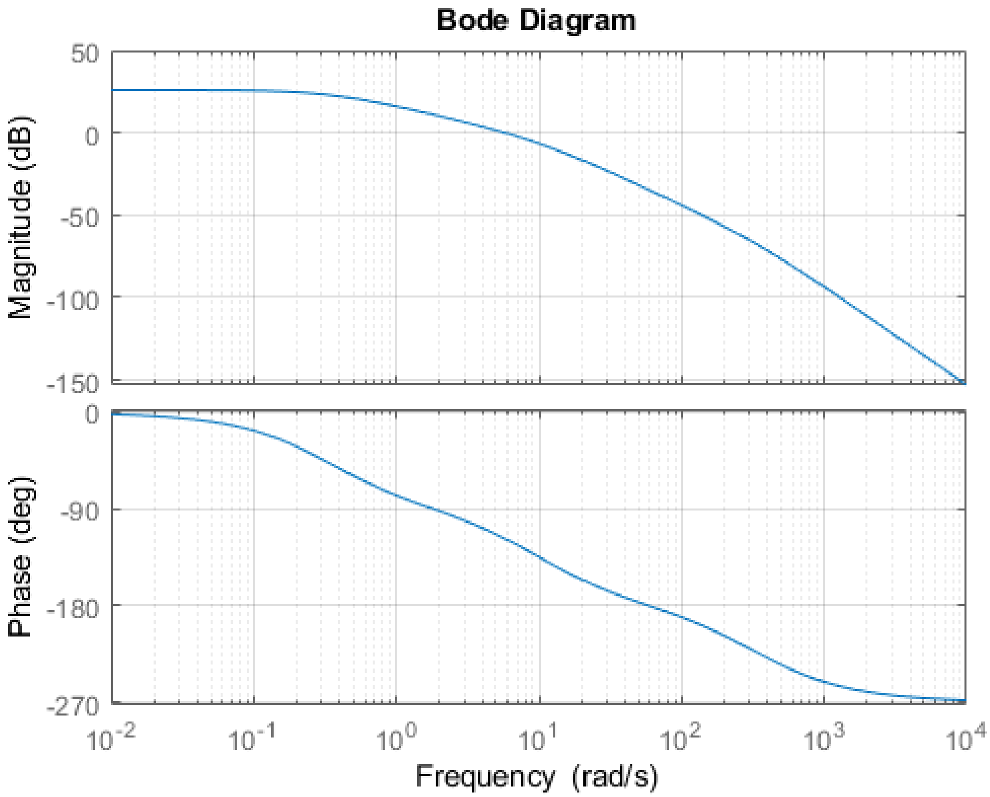
Stabilité d'un système

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.

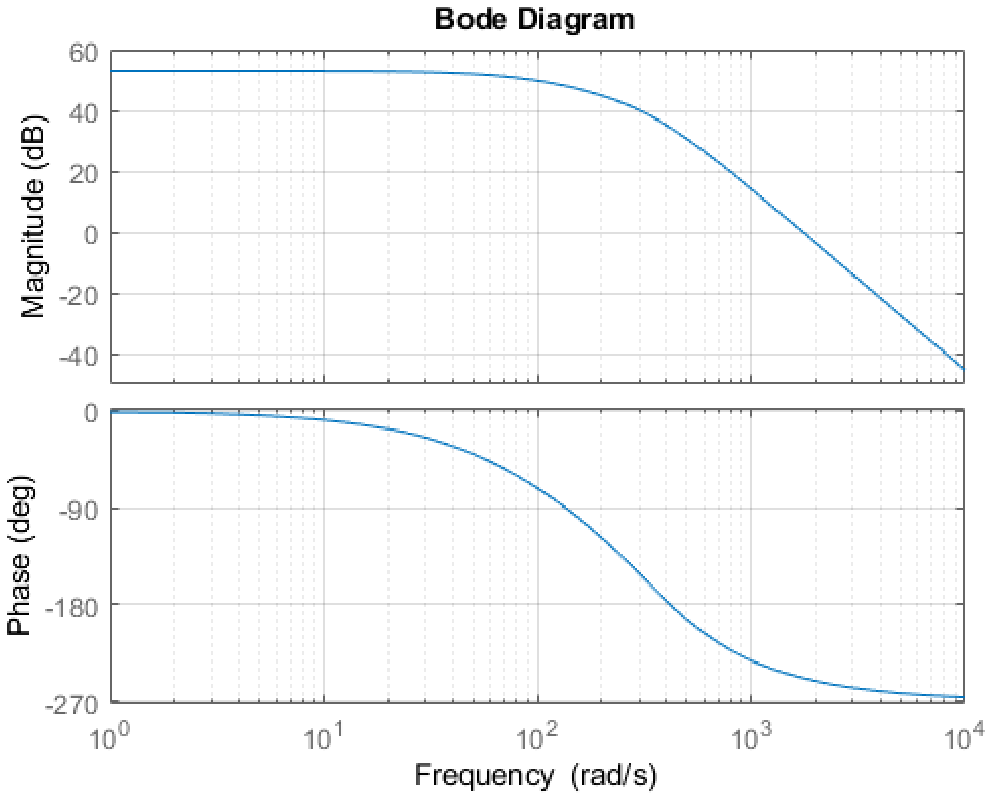
Pour estimer les risques d'instabilité, on s'intéresse aux marges de gain et de phase d'un système en boucle ouverte, qui déterminera ensuite sa robustesse en boucle fermée.

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 ?



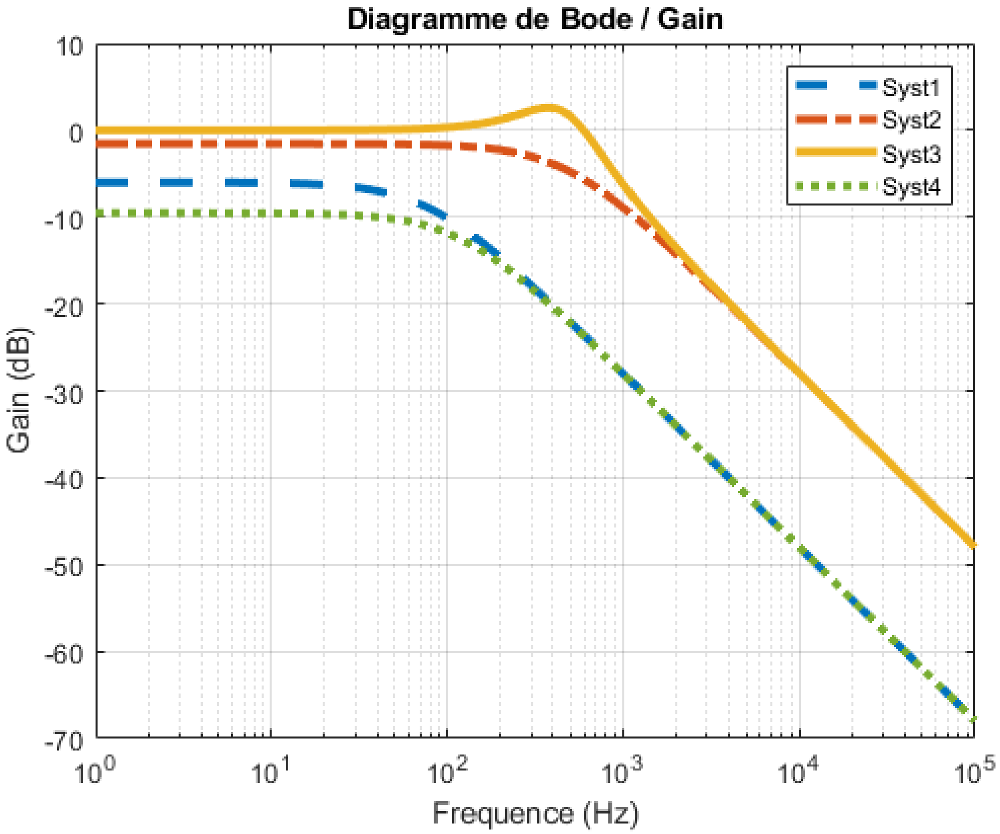
Correction d'un système

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

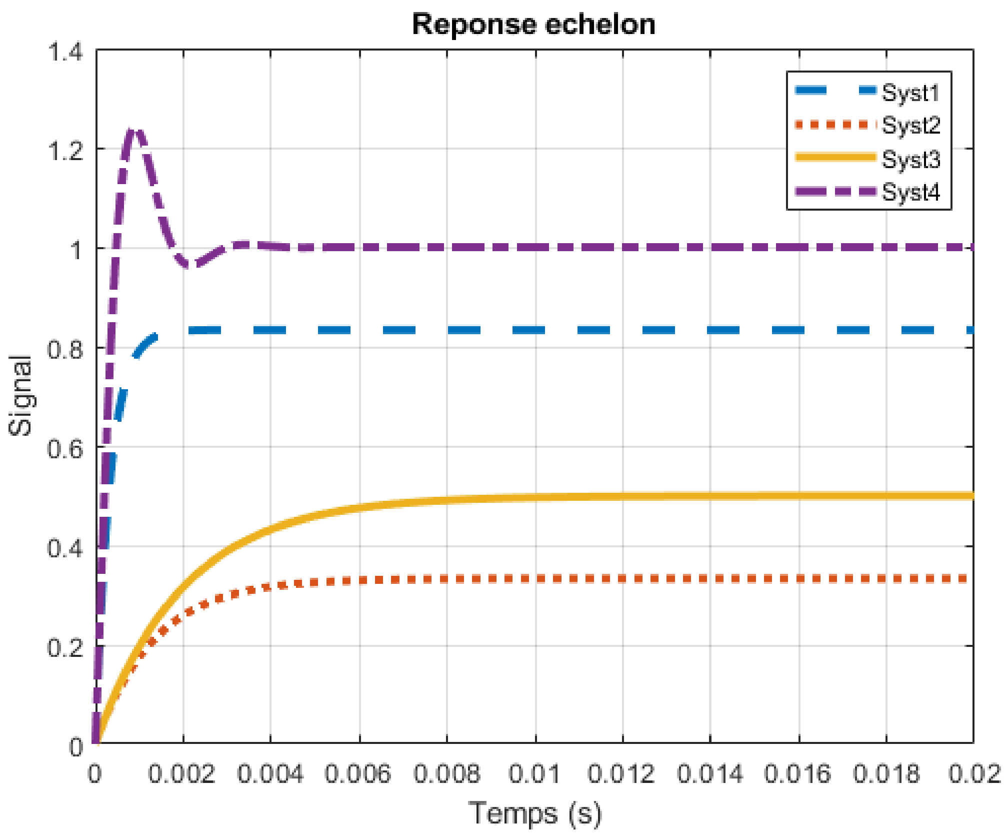
$$H(p) = \frac{H_0}{1 + \tau \cdot p}$$

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 $\tau_i = 3 \cdot 10^{-5}$)



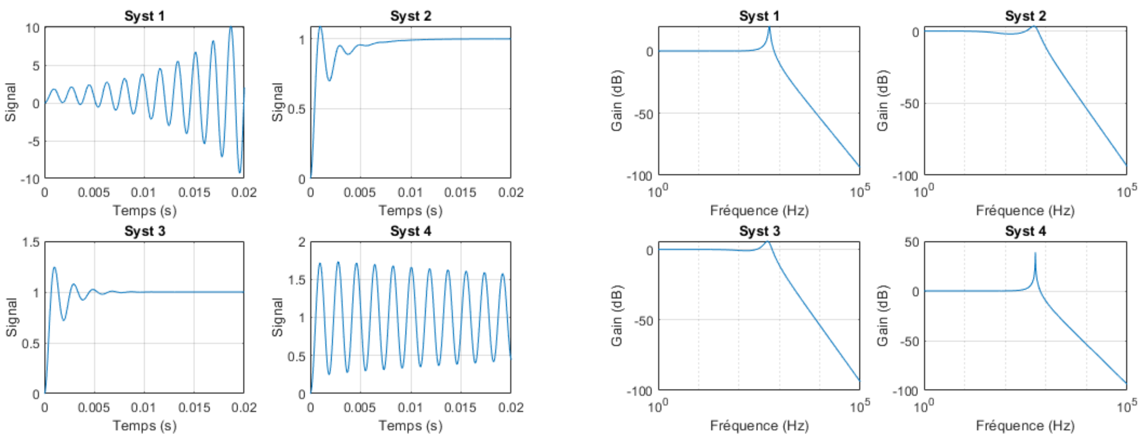
2. Même question avec les réponses indicielles suivantes.



Correction et stabilité

On se base sur le système précédent, $H(p) = \frac{H_0}{1+\tau \cdot p}$, 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

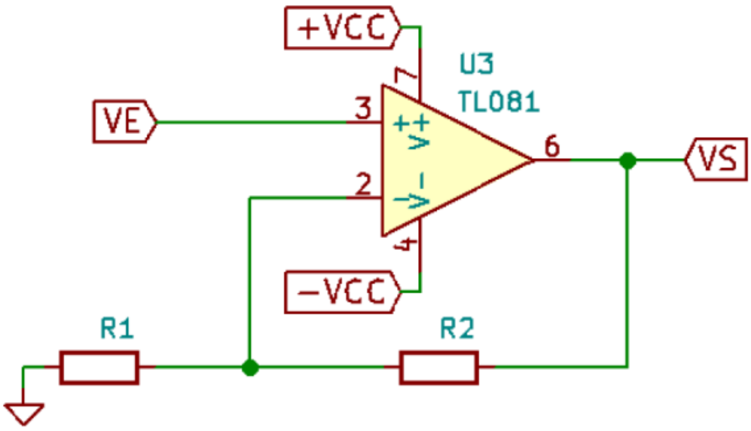
▷ Système rebouclé basé sur les ALI

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.



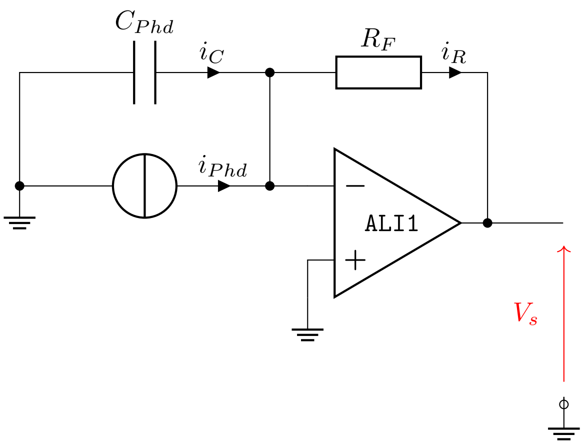
1. Proposez un schéma bloc pour un **montage amplificateur non-inverseur**.
2. Calculez la fonction de transfert en boucle fermée de ce montage.
3. Que valent à présent le gain statique et la pulsation caractéristique de ce système (pour les mêmes valeurs de A_0 et GBP) ?

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 :

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

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 $B(p)$?

   Dans un TD précédent, on obtient $V^- = (V_S + R_F \cdot i_{Phd}) \cdot \frac{1}{1+p \cdot R_F \cdot C_{Phd}}$.

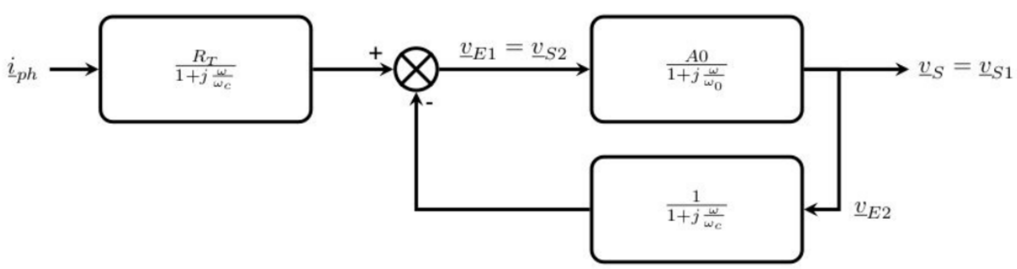
   On peut alors décomposer V^- en deux parties :

   $V_1^- = V_S \cdot \frac{1}{1+p \cdot R_F \cdot C_{Phd}}$

   et

   $V_2^- = R_F \cdot i_{Phd} \cdot \frac{1}{1+p \cdot R_F \cdot C_{Phd}}$

   On se retrouve alors avec le montage suivant :



   On rappelle que si on suppose $A_0 >> 1$, on obtient les valeurs de fréquence de coupure et de facteur d'amortissement suivantes :

$$\omega_T \approx \sqrt{\omega_c \cdot A_0 \cdot \omega_0} = \sqrt{\omega_c \cdot \omega_{GBP}}$$

$$m_T = \frac{\omega_c + \omega_0}{2 \cdot \omega_T} \approx \frac{1}{2} \cdot \sqrt{\frac{\omega_c}{\omega_{GBP}}}$$

2. Ce système peut-il devenir instable ?