

21 mai 2025

## TP - 234 - Commande en régulation de vitesse d'une MCC

Scott Hamilton

Ibrahim El Kassimi

Encadrement par Cécile Durieu

### Table des matières

1. Préparation 1 .....	2
2. Manipulation 1 .....	2
3. Préparation 2 .....	4
4. Manipulation 2 .....	4
5. Préparation 3 .....	6
6. Préparation 4 .....	6
7. Manipulation 3 .....	7
8. Préparation 5 .....	7
9. Manipulation 4 .....	8
10. Préparation 6 .....	9
11. Manipulation 5 .....	11

## 1. Préparation 1

Comment déterminer  $G_0$  et  $\tau$  à partir de la réponse indicielle du système petits signaux en BO ?

**Identification temporelle**

On a  $V(\Delta\omega_c)(\tau) = 0,63(V(\Delta\omega_c)_{\text{final}} - V(\Delta\omega_c)_{\text{initial}}) + V(\Delta\omega_c)_{\text{initial}}$

Donc on en déduit facilement  $\tau$  avec les curseurs de l'oscilloscope.

De plus,  $G_0 = \frac{V(\Delta\omega_c)_{\text{final}} - V(\Delta\omega_c)_{\text{initial}}}{U_{\text{final}} - U_{\text{initial}}}$

Par lecture graphique, on obtient  $\tau = 50 \text{ ms}$  et  $G_0 = 1,3$

**Identification harmonique**

En harmonique, on a  $\varphi(\omega = \frac{1}{\tau}) = -45^\circ$ , on en déduit  $\tau$ .

De plus  $G(0) = G_0$ .

## 2. Manipulation 1

**Calcul de  $\omega_0$**

Pour une tension d'entrée  $U_0 = 5 \text{ V}$ , on obtient  $V(\omega_0) = 4,88 \text{ V}$ . Donc  $\omega_0 = 4,88 \text{ rad/s}$ .

**Méthode pour retrancher  $\omega_0$**

Pour assurer le fonctionnement en petits signaux, il faut retrancher précisément  $\omega_0$  à  $\omega_c$ .

Pour se faire, on propose d'envoyer une tension continue  $U_0$  au système et de moyenner la tension  $V(\Delta\omega_c) - E$  de sortie avec un multimètre. Enfin, on adapte le potentiomètre de  $E$  jusqu'à avoir une moyenne de  $\Delta\omega_c$  nulle pour  $u(t) = 0$

**Identification**

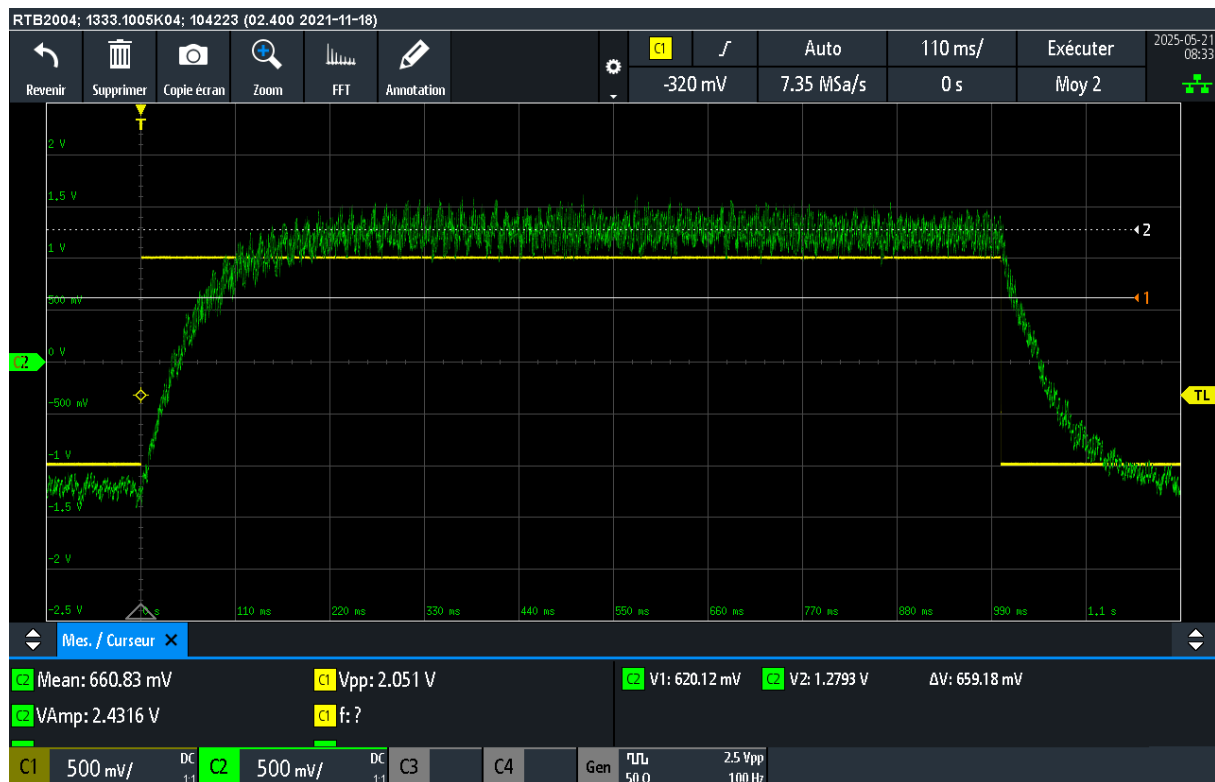


Fig. 1. – Réponse indicielle,  $\begin{cases} \text{jaune} \rightarrow \text{entrée } x_c \\ \text{vert} \rightarrow \text{sortie } \Delta\omega_c \end{cases}$ ,

- $V(\Delta\omega_c)_{\text{final}} = 1,25 \text{ V}$
- $V(\Delta\omega_c)_{\text{initial}} = -1,25$
- $V(\Delta\omega_c)_{0,63\%} = 0,63(V(\Delta\omega_c)_{\text{final}} - V(\Delta\omega_c)_{\text{initial}}) + V(\Delta\omega_c)_{\text{initial}} = 0,32 \text{ V}$
- $\tau = 59 \text{ ms}$
- $G_0 = 1,25 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{V}^{-1}$

### Étude en régime harmonique ?

Une étude harmonique n'est pas tout aisée puisqu'a priori il faudrait envoyer plusieurs entrées sinusoïdales de fréquences différentes pour établir le diagramme de Bode du système

Utilité du moyennage sur 10 points ?

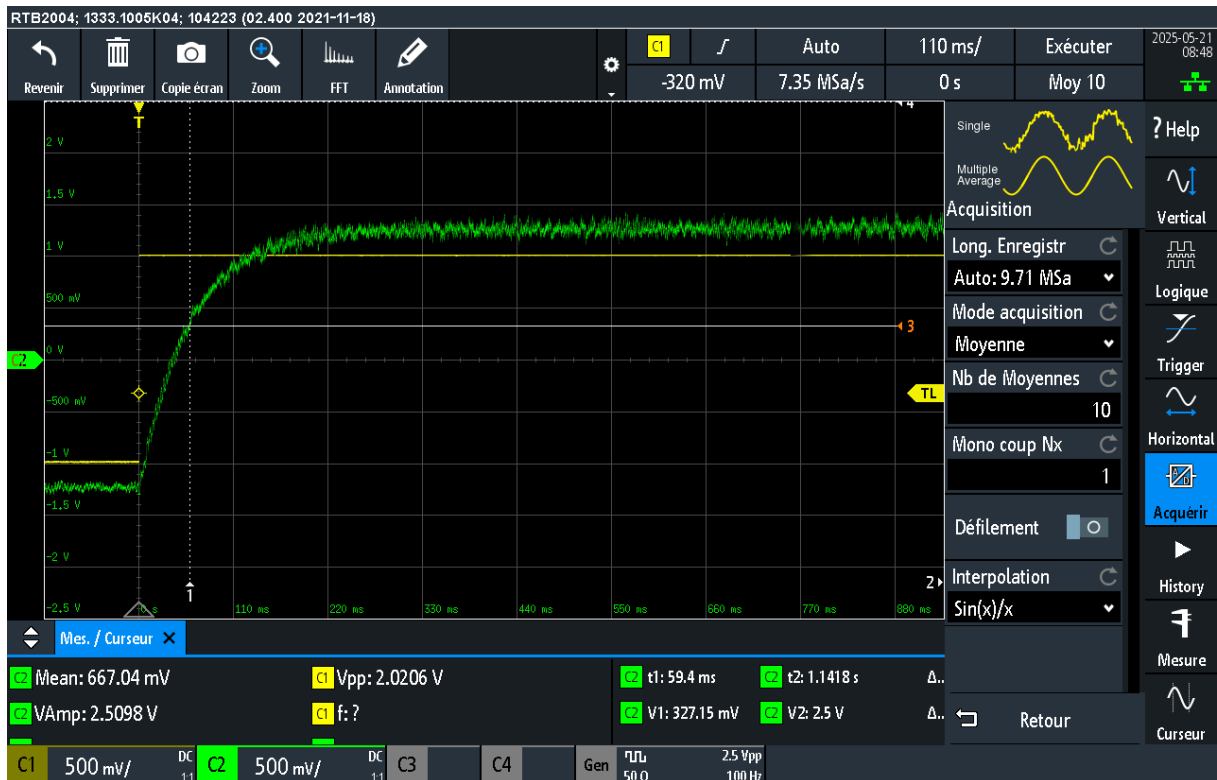


Fig. 2. – Réponse indicielle moyennée,  $\begin{cases} \text{jaune} \rightarrow \text{entrée } x_c \\ \text{vert} \rightarrow \text{sortie } \Delta\omega_c \end{cases}$

On remarque que le moyennage n'aide qu'à la marge à l'identification des paramètres du système par comparaison avec Fig. 1.

- Comparaison  $G_0$  vs  $\frac{\Omega_0}{U_0}$**
- $\frac{\Omega_0}{U_0} = 0,98 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{V}^{-1}$
  - $G_0 = 1,25 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{V}^{-1}$

L'écart est dû aux non-linéarités de seuil de la caractéristique statique d'entrée-sortie du système par frottements secs.

### 3. Préparation 2

**Pourquoi ne pas prendre une pulsation de coupure du filtre plus basse ?**

Il ne faut pas que le filtre impacte la dynamique du système dans la bande passante de la MCC.

**Comment choisir le facteur d'amortissement  $\xi$  ?**

On veut éviter les résonances ici donc on prends un filtre Butterworth  $\xi = \frac{1}{\sqrt{2}} = 0,707$

**Comment valider le choix du filtre choisi visuellement ?**

On peut superposer le signal de sortie non-filtré moyenné et le signal de sortie filtrée non-moyenné et s'assurer que les deux signaux coïncident avec des écarts uniquement dus aux bruits de mesure (pas d'écart systématique positif ou négatif). Il ne faut pas que le filtre induise des distorsions dans le signal de sortie.

### 4. Manipulation 2

**Comparaison filtré vs non-filtré**

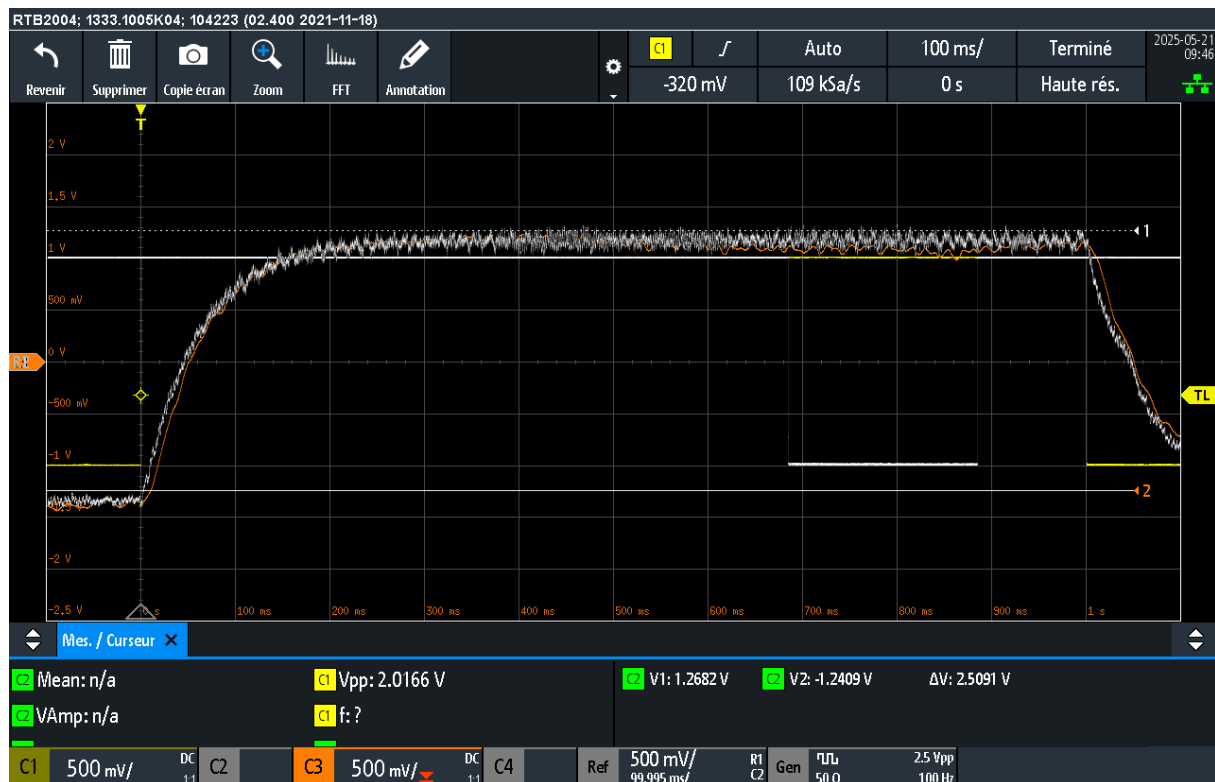


Fig. 3. – réponse indicielle

- jaune → entrée  $x_c$
- blanc → sortie non-filtrée moyennée  $x_c$
- orange → sortie filtrée non-moyennée  $\Delta\omega_c$

On affiche les signaux filtrés et non-filtrés. Le signal filtré est en mode d'acquisition « haut-résolution » tandis que le signal non-filtré est en mode d'acquisition moyennage sur 10 points. On impose un filtre de Butterworth  $\xi = \frac{1}{\sqrt{2}} \approx 0,707$ . Pour assurer d'éviter les résonnances, on prend  $\xi = 0,8$ . On adapte la fréquence de coupure du filtre, plus elle est basse, plus le signal est filtré, mais plus le signal est distordu. On prend un compromis à  $f = 30$  Hz.

REMARQUE: On voit quand même Fig. 3 que le compromis trouvé induit un retard visible au début de chaque rupture de pente (en début et fin d'oscillogramme ici).

### Réidentification avec signal filtré

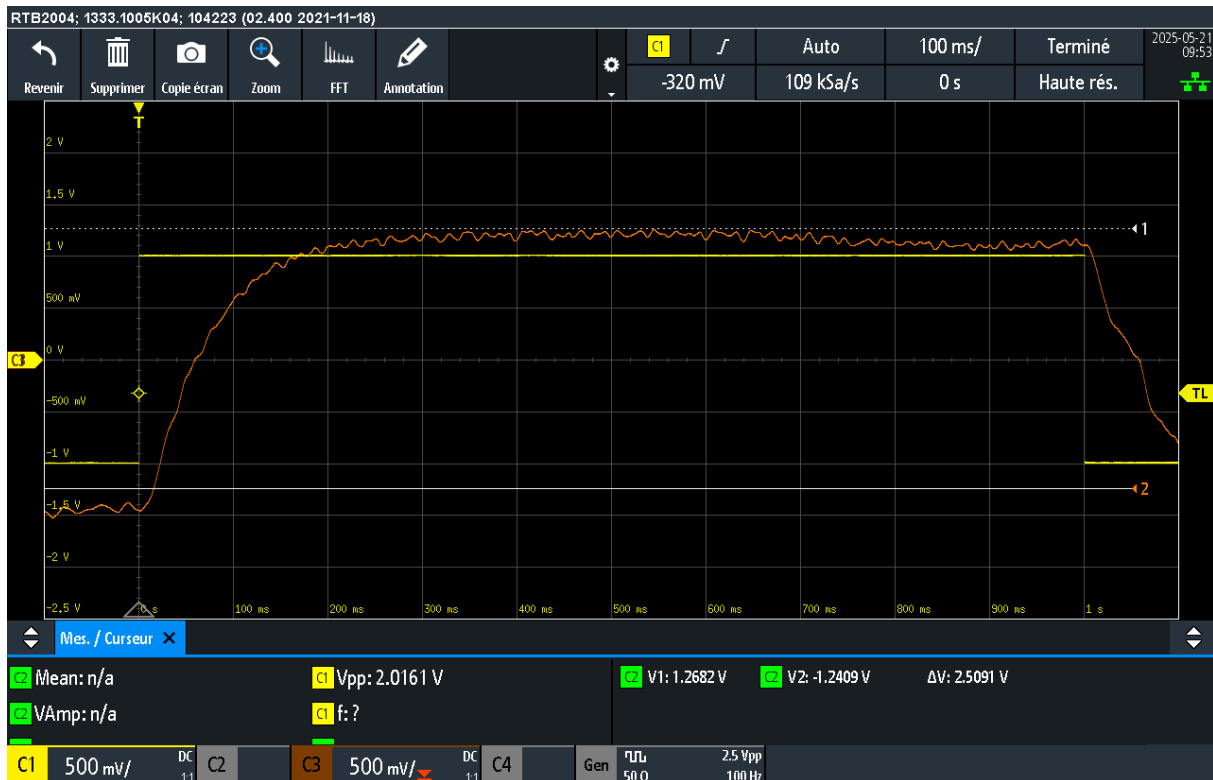


Fig. 4. – réponse indicielle filtrée,  $\begin{cases} \text{jaune} \rightarrow \text{entrée } x_c \\ \text{orange} \rightarrow \text{sortie filtrée } \Delta\omega_c \end{cases}$

- $V(\Delta\omega_c)_{\text{final}} = 1,18 \text{ V}$
- $V(\Delta\omega_c)_{\text{initial}} = -1,47$
- $V(\Delta\omega_c)_{0,63\%} = 0,63(V(\Delta\omega_c)_{\text{final}} - V(\Delta\omega_c)_{\text{initial}}) + V(\Delta\omega_c)_{\text{initial}} = 0,32 \text{ V}$
- $\tau = 71 \text{ ms}$
- $G_0 = 1,33 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{V}^{-1}$

Peu d'influence sur le gain statique (erreur indiscernable des incertitudes de mesure) mais une influence sur le temps de réponse à 5% non négligeable. C'est tout à fait cohérent avec la légère diminution de la bande passante globale due à l'effet passe-bas du filtre.

## 5. Préparation 3

En appliquant le théorème de superposition on montre aisément que les deux schémas sont équivalents en posant  $\begin{cases} U(t) = U_0 + u(t) \\ \omega_c(t) = \omega_0 + \Delta\omega_c(t) \end{cases}$

## 6. Préparation 4

Correction proportionnel

- $T_{\text{BF}}(p) = \frac{KG_0}{1+KG_0} \frac{1}{1+\frac{\tau}{1+KG_0}p}$
- $t_{r,5\%} = \frac{3\tau}{1+KG_0}$
- Gain statique =  $\frac{KG_0}{1+KG_0}$

On en déduit  $K_1 = \frac{2}{G_0}$ .

## 7. Manipulation 3



Fig. 5. – Réponse indicielle du correcteur proportionnel  $\begin{cases} \text{jaune} \rightarrow \text{entrée } x_c \\ \text{orange} \rightarrow \text{sortie } \Delta\omega_c \end{cases}$

On prend  $K_1 = \frac{2}{G_0} = 1,51$

- $V(\Delta\omega_c)_{\text{final}} = 0,50 \text{ V}$
- $V(\Delta\omega_c)_{\text{initial}} = -0,59$
- $V(\Delta\omega_c)_{0,63\%} = 0,63(V(\Delta\omega_c)_{\text{final}} - V(\Delta\omega_c)_{\text{initial}}) + V(\Delta\omega_c)_{\text{initial}} = 97 \text{ mV}$
- $\tau_P = 30 \text{ ms}$
- $H_0 = 0,55$
- $\varepsilon_s = -0,5 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{V}^{-1}$

Théoriquement  $\begin{cases} H_0 = \frac{K_1 G_0}{1 + K_1 G_0} \stackrel{\text{A.N.}}{=} 0,67 \\ \tau_P = \frac{\tau}{1 + K_1 G_0} \stackrel{\text{A.N.}}{=} 20 \text{ ms} \end{cases}$

## 8. Préparation 5

- Pour pouvoir compenser le pôle dominant, il faut imposer  $GT_i = \tau$

$$T_{\text{BF}}(p) = \frac{1}{1 + \frac{\tau_i}{K G_0} p}$$

$$t_{r,5\%} = \frac{3T_i}{K G_0}$$

$$K_2 = \frac{3T_i}{\tau G_0} \text{ et } G_2 = \frac{\tau}{T_i}$$

## 9. Manipulation 4



Fig. 6. – Réponse indicielle du correcteur proportionnel-intégral  $\begin{cases} \text{jaune} \rightarrow \text{entrée } x_e \\ \text{orange} \rightarrow \text{sortie } \Delta\omega_c \end{cases}$

On prend  $T_i = 0,1$  s,  $G = 0,5$  et  $K_2 = 4,51$

- $V(\Delta\omega_c)_{\text{final}} = 1$  V
- $V(\Delta\omega_c)_{\text{initial}} = -1$
- $V(\Delta\omega_c)_{0,63\%} = 0,63(V(\Delta\omega_c)_{\text{final}} - V(\Delta\omega_c)_{\text{initial}}) + V(\Delta\omega_c)_{\text{initial}} = 0,26$  V
- $\tau_{\text{PI}} = 22$  ms
- $H_0 = 1$
- $\varepsilon_s = 0 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{V}^{-1}$

Théoriquement  $\begin{cases} H_0=1 \\ \tau_{\text{PI}}=\frac{T_i}{K_2 G_0}=17 \text{ ms} \end{cases}$

### Influence d'une mauvaise compensation de pôle dominant

On prend  $G = 0,01$  au lieu de 0,5. On obtient la réponse indicielle suivante



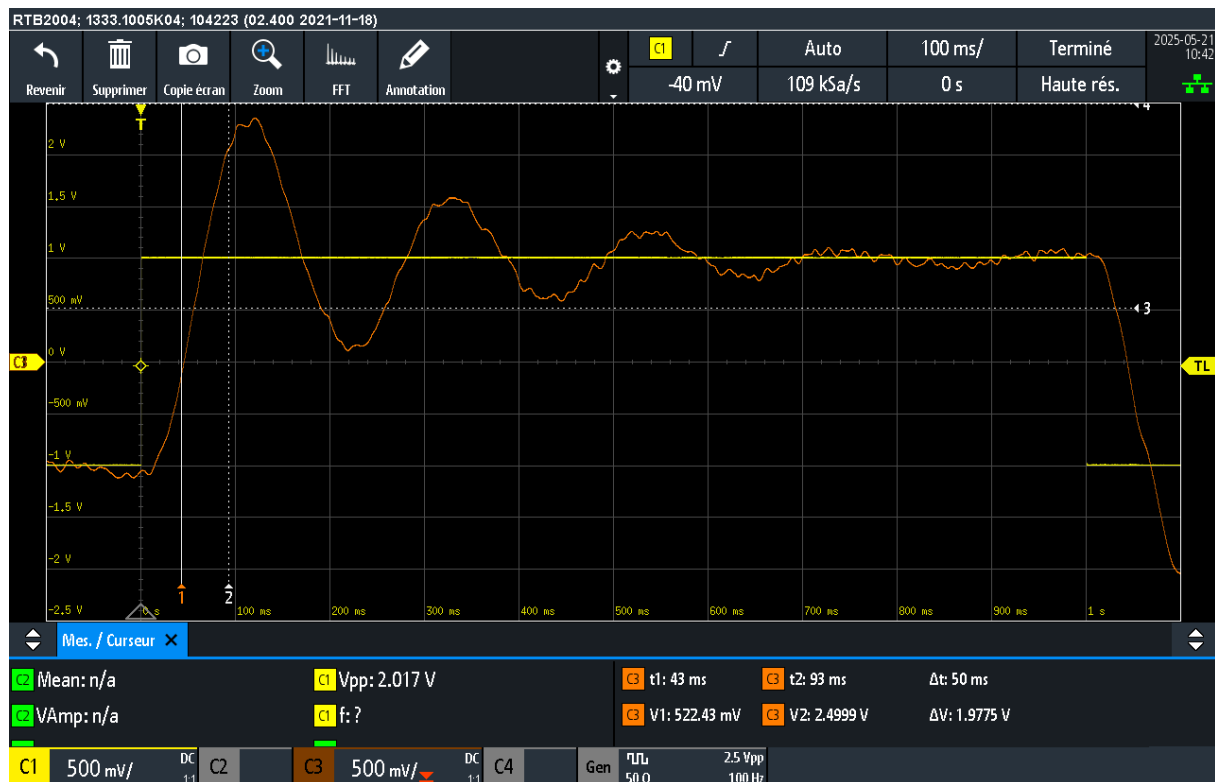


Fig. 7. – Réponse indicielle du PI avec mauvaise compensation de pôle  $\begin{cases} \text{jaune} \rightarrow \text{entrée } x_c \\ \text{orange} \rightarrow \text{sortie } \Delta\omega_c \end{cases}$

On observe des oscillations caractéristiques d'un deuxième ordre. Les performances du filtre sont bien moindres que celles pour une compensation de pôle correctement réalisée comme Fig. 6.

## 10. Préparation 6

### Correcteur proportionnel

$$\frac{\Delta\Omega_b(p)}{B(p)} = \frac{1}{3} \frac{1 + \tau p}{1 + \frac{\tau}{3} p}$$

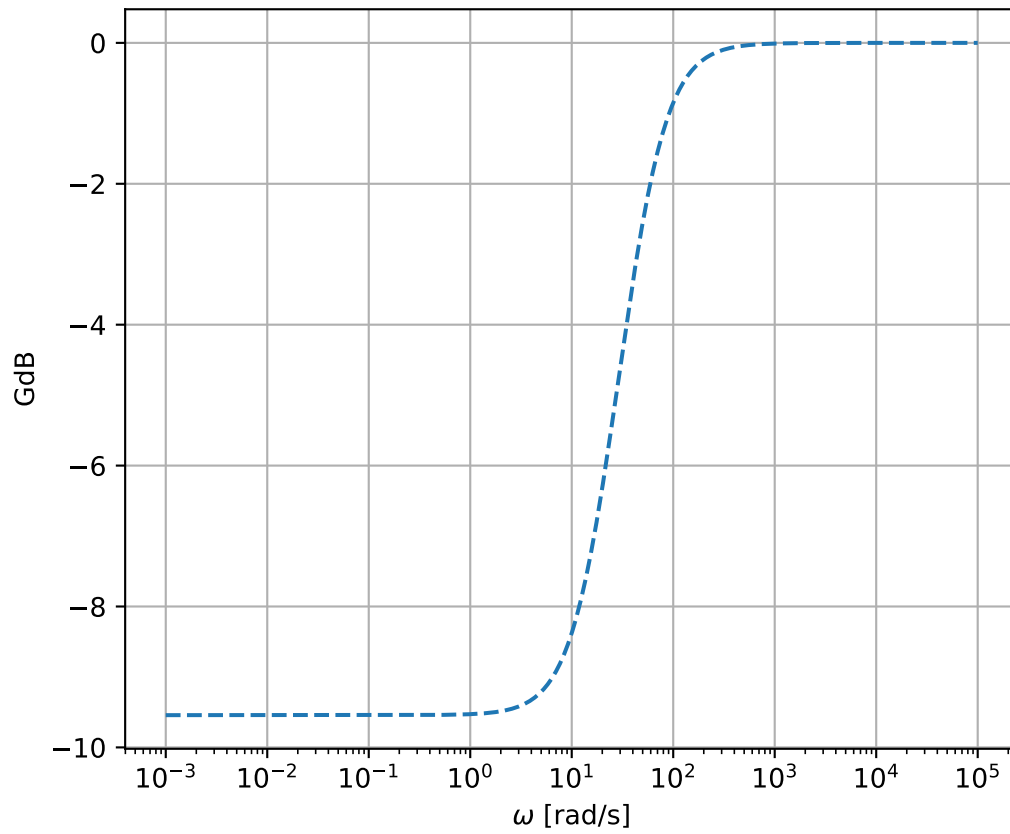


Fig. 8. – Diagramme de Bode en gain

**Correcteur proportionnel-intégral**

$$\frac{\Delta\Omega_b(p)}{B(p)} = \frac{\tau p}{3 + \tau p}$$

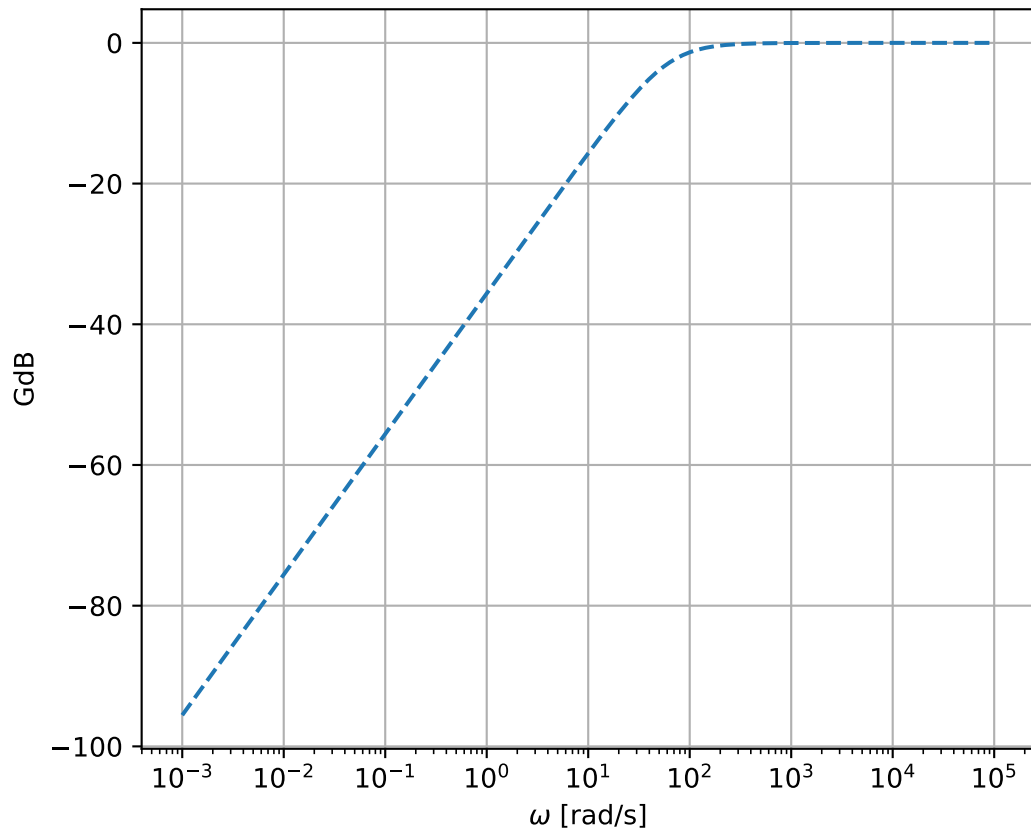


Fig. 9. – Diagramme de Bode en gain

## 11. Manipulation 5

Rejection de bruit du correcteur P

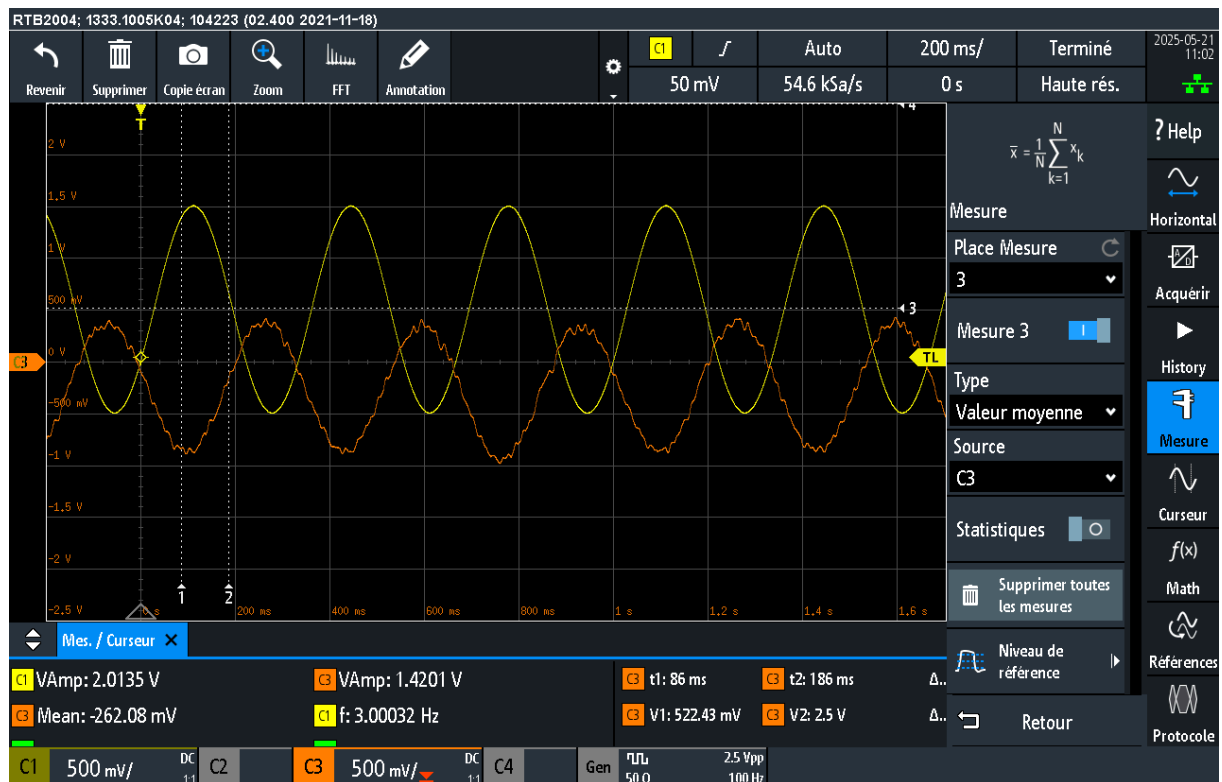


Fig. 10. – Réponse en régulation du proportionnel avec bruit sinusoïdal et offset,  
 $\begin{cases} \text{jaune} \rightarrow \text{entrée } b \\ \text{orange} \rightarrow \text{sortie } \Delta\omega_e \end{cases}$

On voit que le bruit statique n'est pas totalement rejeté ( $-5,6$  dB), le rejet de la perturbation à 3Hz est de  $-7,5$  dB.

### Rejets du correcteur PI



Fig. 11. – Réponse en régulation du proportionnel-intégral avec bruit sinusoïdal et offset,  
 {jaune → entrée  $b$   
 orange → sortie  $\Delta\omega_e$

On voit que le bruit statique est totalement rejeté, le rejet de la perturbation à 3Hz est de  $-3,0$  dB.

## Conclusion

Le correcteur proportionnel-intégral est meilleur que le correcteur proportionnel en consigne comme en régulation.