

27 mai 2025

TP - 234 - Commande en régulation de vitesse d'une machine à courant continu

Ibrahim El Kassimi
 Encadrement par Cécile Durieu

Table des matières

1. Préparation 1	2
1.1. Détermination de G_0 et τ à partir de la réponse indicielle du système petits signaux en boucle ouverte.	2
1.1.1. Identification temporelle.	2
1.1.2. Identification harmonique	2
2. Manipulation 1	2
2.1. Détermination de Ω_0	2
2.2. Méthode pour soustraire Ω_0	2
3. Identification	2
3.1. Étude en régime harmonique	3
4. Préparation 2	3
4.1. Choix de la pulsation de coupure du filtre.	3
4.2. Choix de la valeur du facteur d'amortissement ξ	3
5. Manipulation 2	4
5.1. Comparaison entre le signal filtré et non-filtré	4
6. Préparation 3	4
7. Préparation 4	4
7.1. Correction proportionnel	4
8. Manipulation 3	5
9. Préparation 5	5
10. Manipulation 4	6
10.1. Influence d'une mauvaise compensation de pôle dominant	6
11. Préparation 6	6
11.1. Correcteur proportionnel	6
11.2. Correcteur proportionnel-intégral	7
12. Manipulation 5	9
12.1. Rejection de la perturbation du correcteur P	9
12.2. Rejection de bruit du correcteur PI	10
13. Conclusion	10

1. Préparation 1

1.1. Détermination de G_0 et τ à partir de la réponse indicielle du système petits signaux en boucle ouverte.

1.1.1. Identification temporelle.

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

Donc on en déduit τ .

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

Par lecture graphique, on obtient $\tau = 50 \text{ ms}$ et $G_0 = 1,2$

1.1.2. Identification harmonique

En harmonique, on a $\varphi(\omega = \frac{1}{\tau}) = -\frac{\pi}{4}$, on en déduit τ .

De plus $G(\omega = 0) = G_0$.

2. Manipulation 1

2.1. Détermination de Ω_0

Pour une tension d'entrée $U_0 = 5 \text{ V}$, on obtient $V(\Omega_0) = 5,5 \text{ V}$. Donc $\Omega_0 = 5,5 \text{ rad/s}$.

2.2. Méthode pour soustraire Ω_0

Pour avoir un fonctionnement en petits signaux, il faut soustraire précisément Ω_0 à $\omega_c(t)$. On envoie une tension continue U_0 au système et on moyenne la tension $V - E$ de sortie avec un multimètre. Enfin, on adapte le potentiomètre de E jusqu'à avoir une moyenne de ω_c nulle pour $u(t) = 0$

3. Identification

figure



Fig. 1. – Réponse indicielle

Remarque Le phénomène vu à la fin du cycle peut être expliqué par le choc entre les dents au niveau de l'accouplement moteur réducteur.

- $V(\omega_c)_{\text{final}} - V(\omega_c)_{\text{initial}} = 7,28 \text{ V}$
- $V(\omega_c)_{0,63\%} = 0,63(V_{\text{final}} - V_{\text{initial}}) + V_{\text{initial}} = 1,8 \text{ V}$
- $\tau = 56,19 \text{ ms}$
- $G_0 = 1,21 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{V}^{-1}$
- $\frac{\Omega_0}{U_0} = 1,1$

La différence entre G_0 et $\frac{\Omega_0}{U_0}$ est due à la non linéarité introduite par les frottement secs.

3.1. Étude en régime harmonique

Pour faire l'étude harmonique on envoie plusieurs entrées sinusoïdales de fréquences différentes et on établit le diagramme de Bode du système. On risque que, pour les hautes fréquences, l'influence du bruit sur les mesure sera importante.

4. Préparation 2

4.1. Choix de la pulsation de coupure du filtre.

Pourquoi ne pas prendre une pulsation de coupure du filtre plus basse afin d'éliminer plus de bruit ? Il faut éviter que le filtre impacte la dynamique du système dans la bande passante de la MCC.

4.2. Choix de la valeur du facteur d'amortissement ξ

Pour éviter les résonances on prend $\xi \geq \frac{1}{\sqrt{2}}$

Comment s'assurer que le filtre a été « correctement » ?

On peut vérifier que l'écart entre les deux signaux est uniquement du aux bruits de mesure.

5. Manipulation 2

5.1. Comparaison entre le signal filtré et non-filtré

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 $f = 56,65$ Hz.

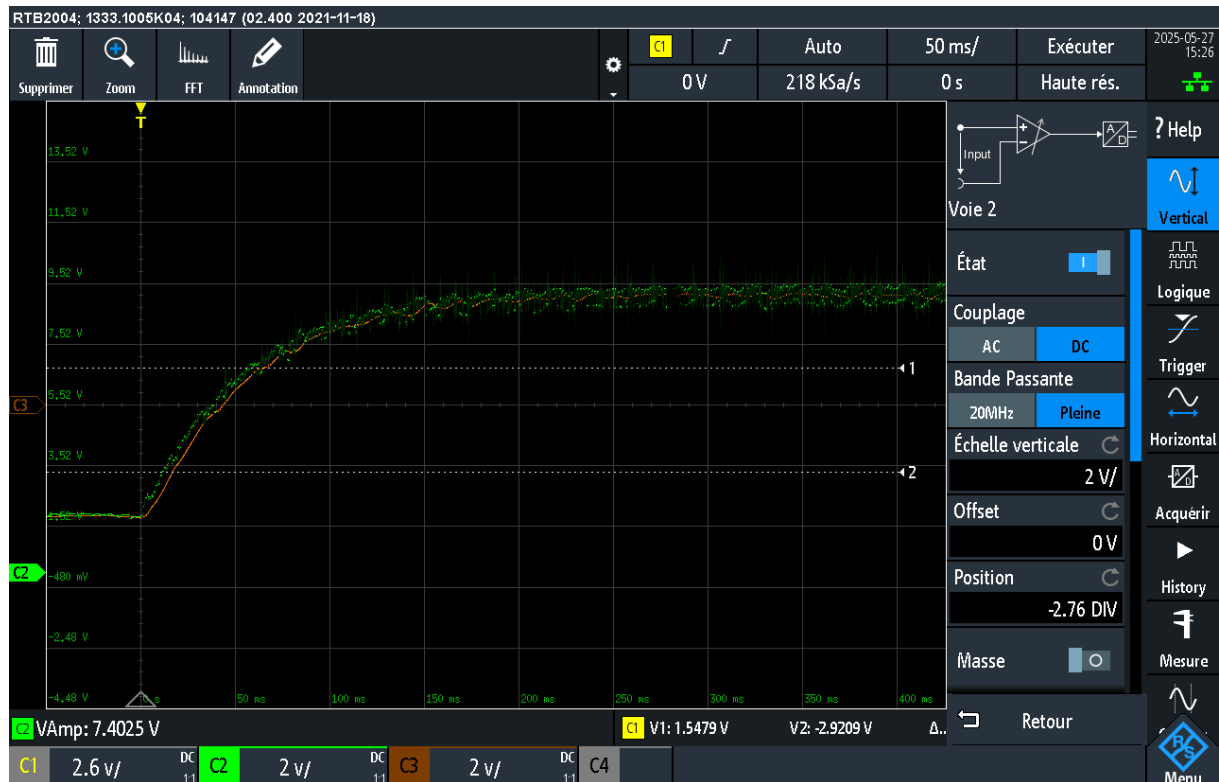


Fig. 2. – réponse indicielle

On observe que le filtre induit un retard au début de chaque transition mais le temps de réponse est pratiquement le même, On conserve bien le comportement global du système.

- $V_{0,63\%} = 0,63(V_{\text{final}} - V_{\text{initial}}) + V_{\text{initial}} = 0,84$ V
- $\tau = 56,24$ ms
- $G_0 = 1,20 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{V}^{-1}$

6. Préparation 3

Par superposition on peut montrer que les deux schémas sont équivalents avec $\begin{cases} U(t) = U_0 + u(t) \\ \omega_c(t) = \Omega_0 + \omega_e(t) \end{cases}$

7. Préparation 4

7.1. 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 = $\frac{KG_0}{1+KG_0}$

Pour avoir un temps de réponse à 5% du système en BF 3 fois plus petit on prends $K_1 = \frac{2}{G_0}$.

8. Manipulation 3

figure correcteur prop

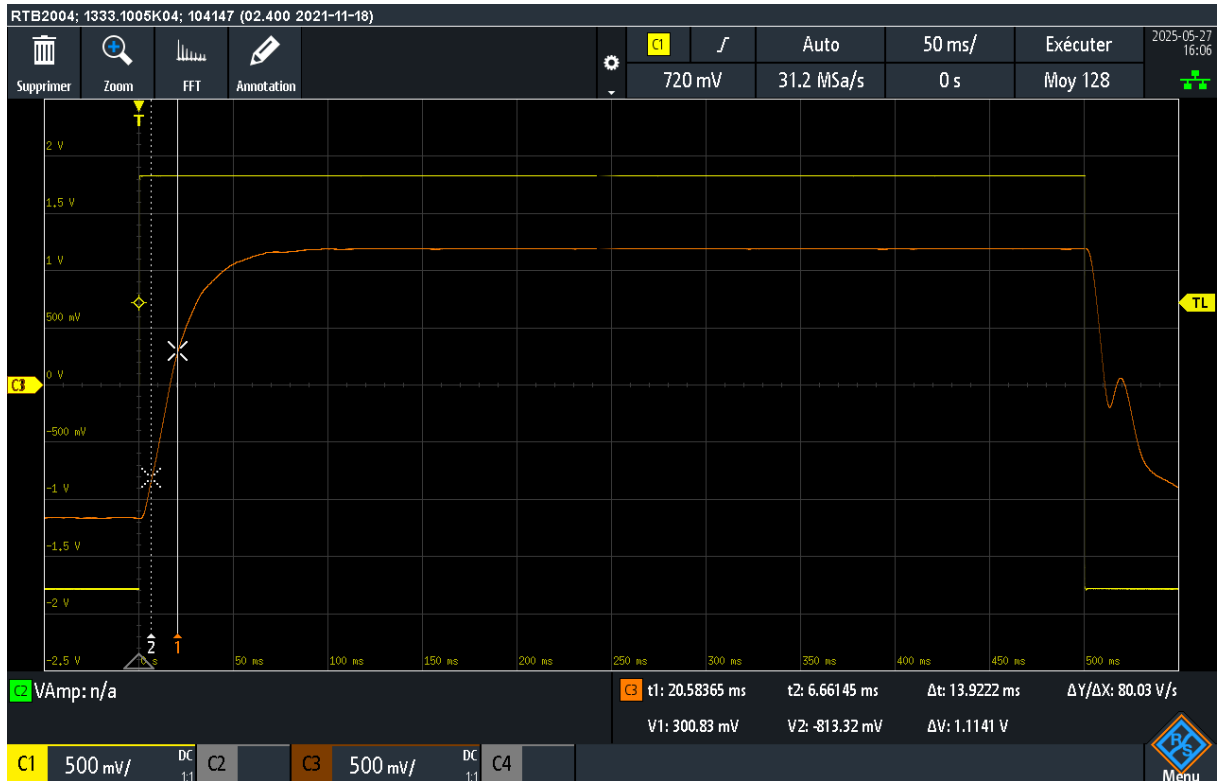


Fig. 3. – Réponse indicielle du correcteur proportionnel

On prend $K_1 = \frac{2}{G_0} = 1,65$

- $V_{0,63\%} = 0.63(V_{\text{final}} - V_{\text{initial}}) + V_{\text{initial}} = 0.32 \text{ V}$
- $\tau_P = 20,59 \text{ ms} < \tau = 56,14 \text{ ms}$
- $H_0 = 0,65$

Le correction permet d'augmenter la rapidité du système.

9. Préparation 5

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

Pour cette valeur de $G \cdot T_i$ on a:

- $T_{\text{BF}}(p) = \frac{1}{1 + \frac{\tau_i}{KG_0}p}$

- $t_{r,5\%} = \frac{3T_i}{KG_0}$

- $K_2 = \frac{3T_i}{\tau G_0} = 4,64$ pour $T_i=0,1s$
- $G_2 = \frac{\tau}{T_i} = 0,56$ pour $T_i=0,1s$

10. Manipulation 4



Fig. 4. – Réponse indicielle du correcteur proportionnel-intégral

On prend $T_i = 0,1s$, $G = 0,56$ et $K_2 = 4,46$

- $V_{\text{final}} = 1 \text{ V}$
- $V_{\text{initial}} = -1$
- $0,63(V_{\text{final}} - V_{\text{initial}}) + V_{\text{initial}} = 0,26 \text{ V}$
- $\tau_{\text{PI}} = 19 \text{ ms}$
- $H_0 = 1,19$
- $\varepsilon_s = 0 \text{ rad} \cdot s^{-1} \cdot V^{-1}$

Théoriquement $\begin{cases} H_0=1 \\ \tau_{\text{PI}} = \frac{T_i}{K_2 G_0} = 18 \text{ ms} \end{cases}$

10.1. Influence d'une mauvaise compensation de pôle dominant

Au lieu de prendre $G = 4,46$ on prend $G = 0,18$. On obtient la réponse indicielle: figure

On observe des oscillations caractéristiques d'un deuxième ordre.

11. Préparation 6

11.1. Correcteur proportionnel

Pour satisfaire le cahier des charges défini précédemment on prend $C(p) = \frac{G_0}{2}$, on a donc:

$$\left(\frac{\Delta\Omega_b(p)}{B(p)} \right)_{X_c(p)=0} = \frac{1}{3} \frac{1+\tau p}{1+\frac{\tau}{3}p}$$

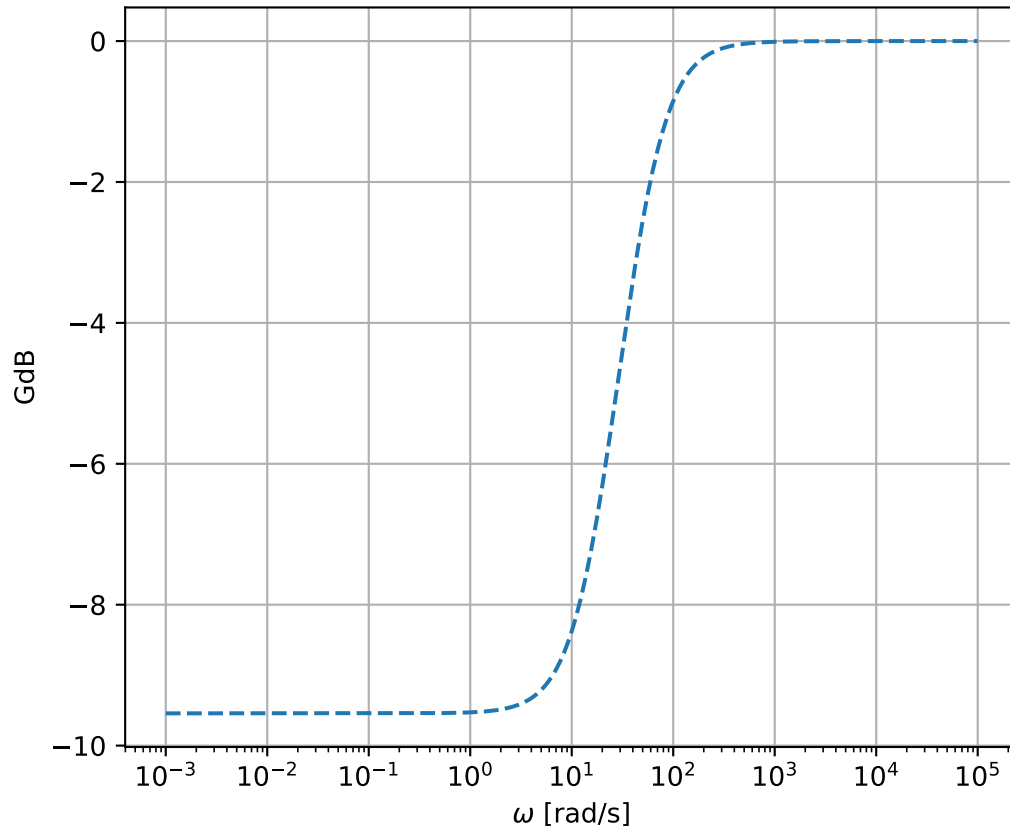


Fig. 5. – Diagramme de Bode en gain

11.2. Correcteur proportionnel-intégral

Pour satisfaire le cahier des charges défini précédemment on prend $C(p) = K_2 \left(G_2 + \frac{1}{T_i} p \right)$ avec

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

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

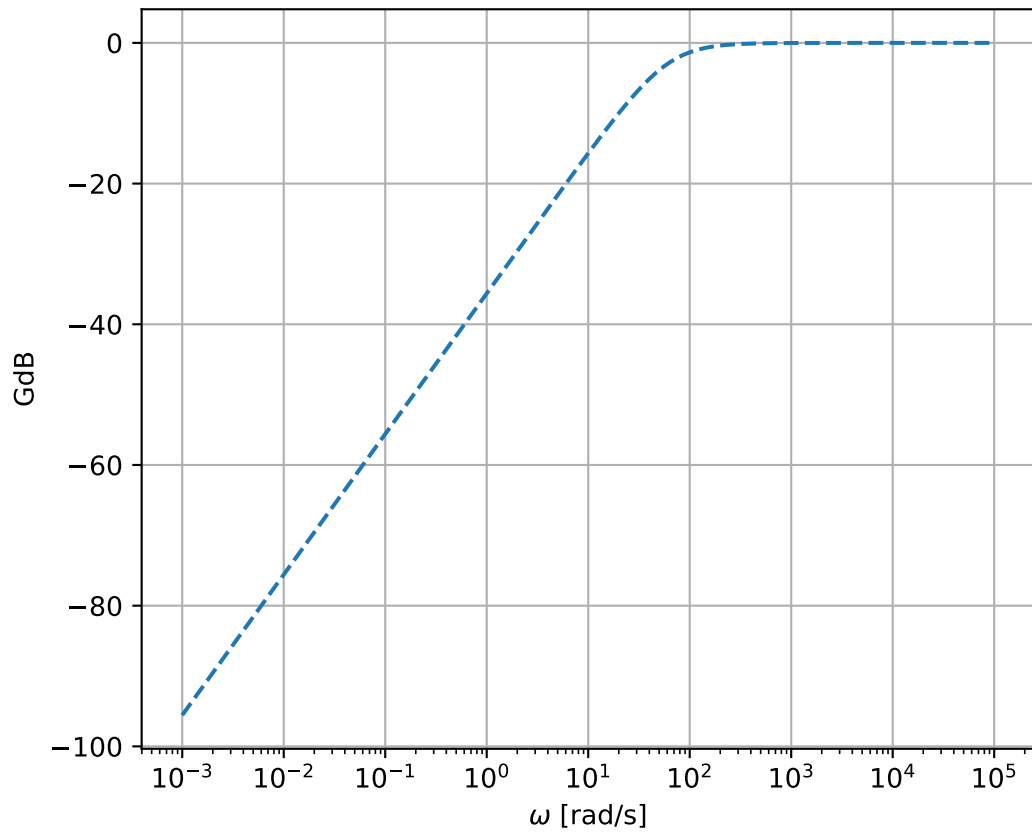


Fig. 6. – Diagramme de Bode en gain

12. Manipulation 5

12.1. Rejection de la perturbation du correcteur P

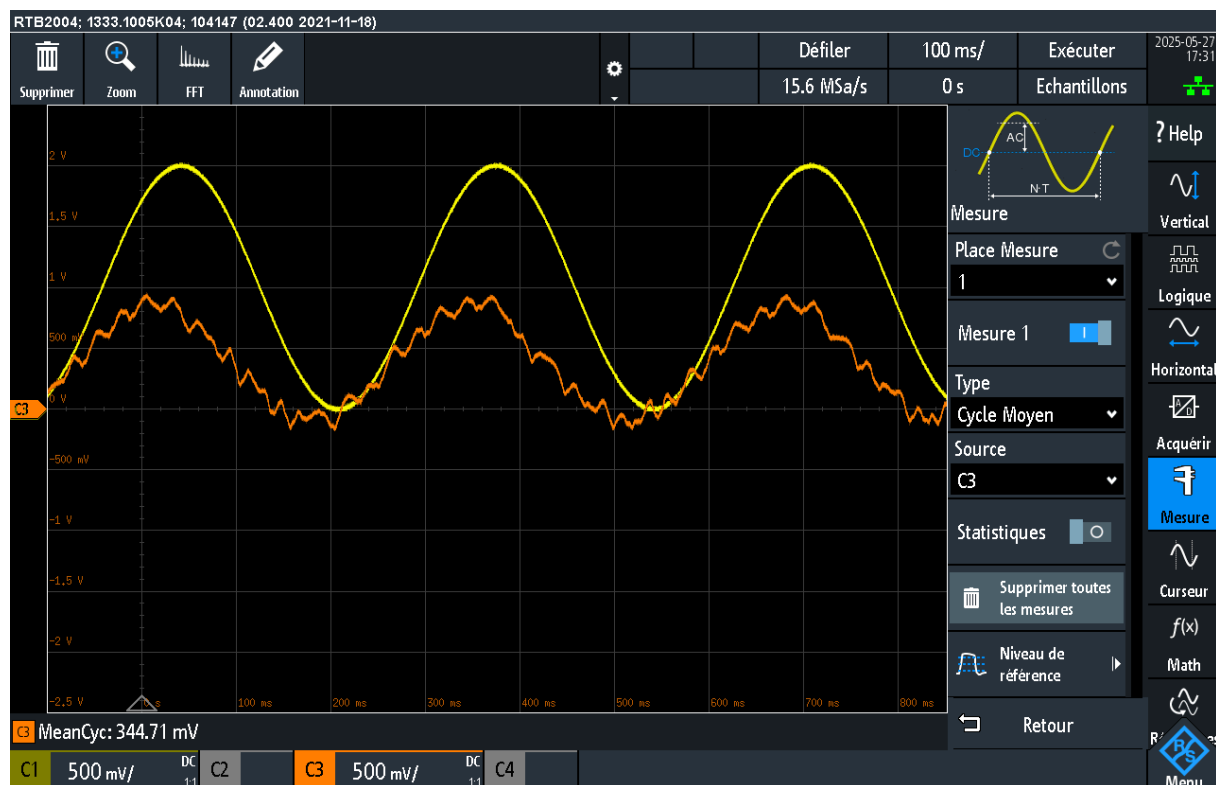


Fig. 7. – Réponse en régulation du proportionnel avec perturbation

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

12.2. Rejection de bruit du correcteur PI

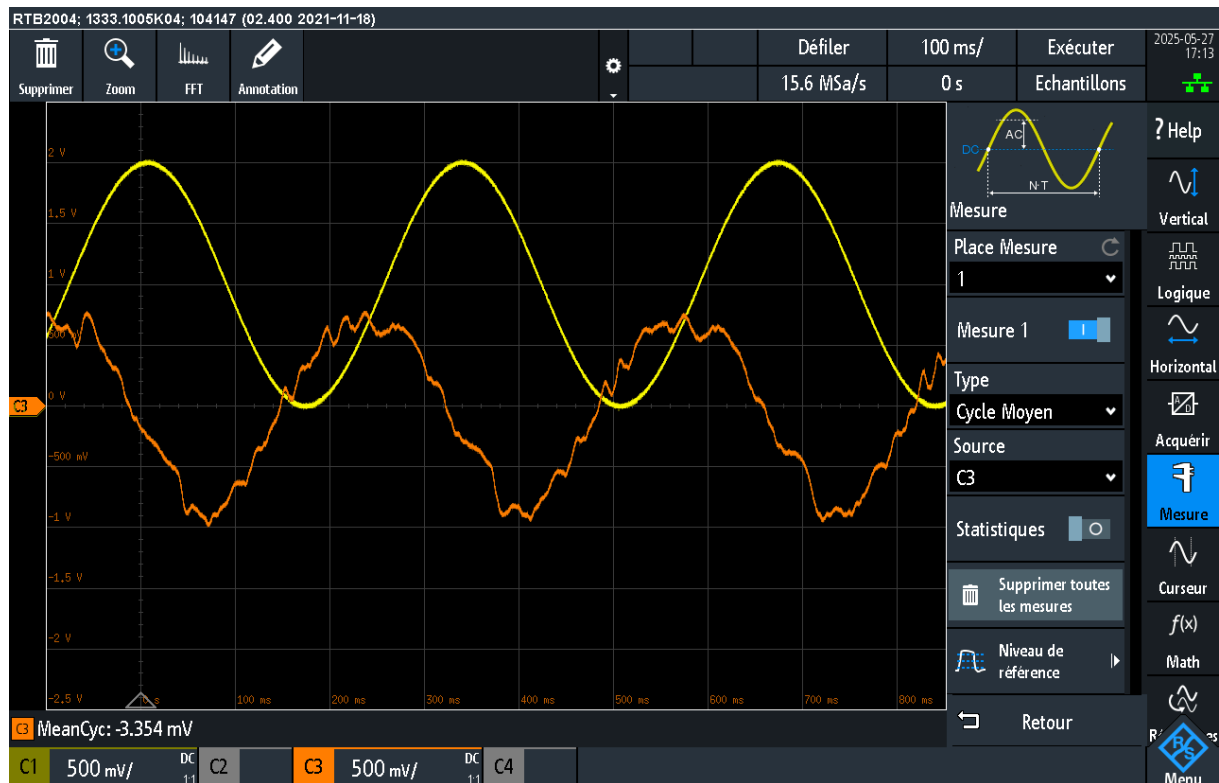


Fig. 8. – Réponse en régulation du proportionnel-intégral avec perturbation

On voit que la composante statique est totalement rejetée, le rejet de la perturbation à 3Hz est de 4 dB.

13. Conclusion

Que ce soit en régulation ou en asservissement, le correcteur proportionnel-intégral est meilleur que le correcteur proportionnel vis-à-vis de la consigne et de la perturbation.