BE chaine d'acquisition et commande numérique

Introduction

Ce bureau d'étude consiste en l'étude d'une trottinette électrique commandée par deux commandes, un asservissement en vitesse ou bien un asservissement en courant.

Notre objectif est donc de mettre en place un correcteur commander le moteur à partir de l'erreur entre la consigne et l'information mesurée par le capteur de courant.

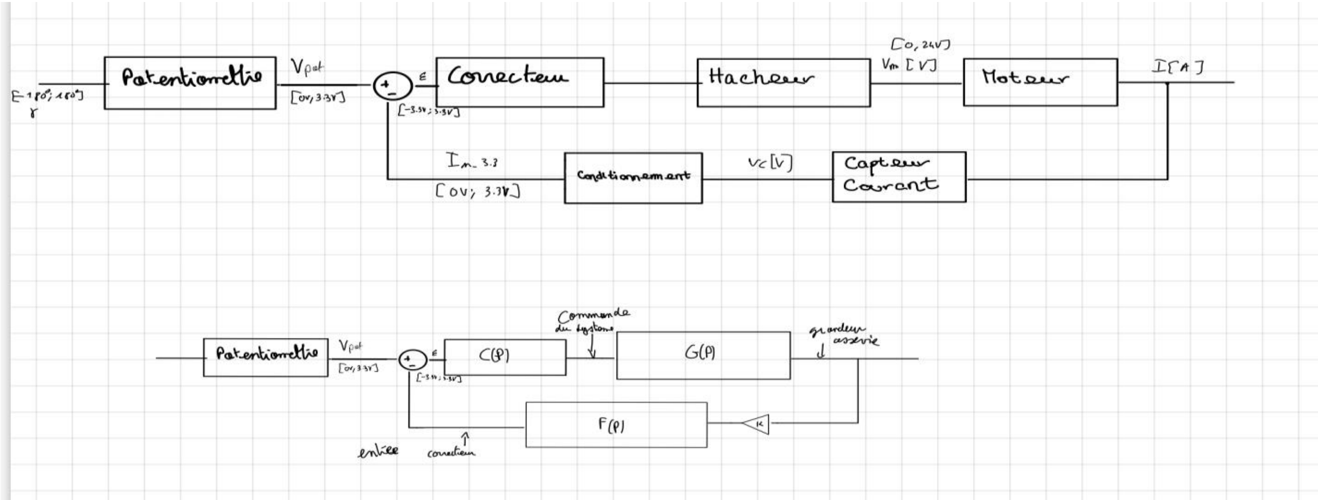
Les spécifications demandées sont :

-Marge de phase supérieure ou égale à 45° dans le pire des cas

-Fréquence de transition en boucle ouverte 300 et 500Hz

-Erreur statique nulle en boucle fermée.

Schéma bloc du système



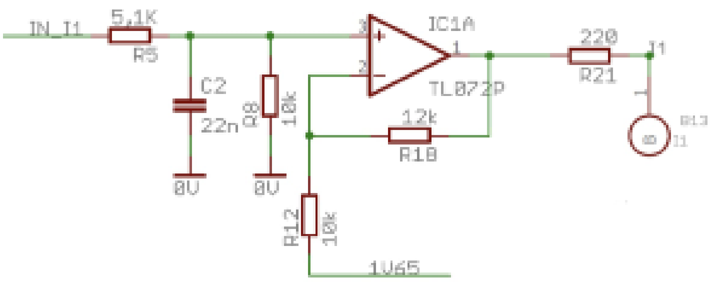
C(p) = fonction de transfert du correcteur PI

G(p) = fonction de transfert du moteur + hacheur

F(p)= fonction de transfert du filtre

Fonction de transfert des blocs

Filtre :



$$V_+ = \frac{1}{1+R_{eq} \cdot C2 \cdot p} \cdot \frac{R8}{R5+R8} * V_{in}$$

$$V_- = \frac{R12}{R12+R18} * V_s$$

Comme l'AOP est supposé parfait on à ε =0 donc $V_+ = V_-$

$$\frac{1}{1+R_{eq}\cdot C2\cdot p}\cdot\frac{R8}{R5+R8}\cdot V_{in}=\frac{R12}{R12+R18}\cdot V_s$$

$$\Leftrightarrow\ \frac{V_s}{V_{in}}=\frac{1}{1+R_{eq}\cdot C2\cdot p}\cdot\frac{R8}{R5+R8}*\left(1+\frac{R18}{R12}\right)$$

Cette AOP est suivie d'un filtre passe bas

$$f_{passebas}=\frac{1}{1+R21\cdot C7\cdot p}$$

Ce filtre permet l'adaptation de tension donc on peut multiplier les deux fonctions de transfert

$$F(p)=\frac{Kf}{(1+Req\cdot C2\cdot p)\cdot(1+R21\cdot C7\cdot p)}$$

$$=\frac{Kf}{(1+\tau_1\cdot p)\cdot(1+\tau_2\cdot p)}$$

Avec Kf=$\frac{R8}{R5+R8}\cdot\left(1+\frac{R8}{R12+R8}\right)$

τ_1=Req*C2

=$\frac{R8\cdot R5}{R8+R5}\cdot C2$

τ_2=R21*C7

R(p)=F(p)*Sensibilité du capteur de courant

=F(p)*S

Avec S=0.108

$$R(p)=\frac{Kf}{(1+\tau_1\cdot p)\cdot(1+\tau_2\cdot p)}*S$$

Hacheur + moteur:

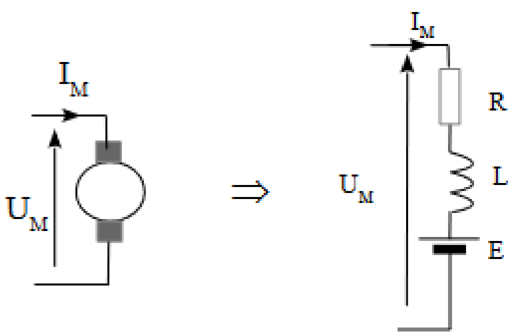


Figure 6 : Modèle de la MCC

$$u_m(t) = R I_m(t) + L \frac{d I_m(t)}{dt} + E(t)$$

$$\Rightarrow U_{m_0} + \tilde{U}_m(t) = R\left[I_{m_0} + \tilde{I}_m(t) \right] + E_0 + \tilde{E}(t) + L \frac{d \tilde{I}_m(t)}{dt}$$

on a $U_{m_0} = R_m I_{m_0} + E_0$

$$\tilde{U}_m(t) = \tilde{I}_m(t) + \tilde{E}(t) + L_m \frac{d \tilde{I}_m(t)}{dt}$$

$$\frac{1}{2}\left[\tilde{U}_m(t) - \tilde{E}(t) \right] = \frac{R_m}{L_m} \tilde{I}_m(t) + \frac{d \tilde{I}_m(t)}{dt}$$

$$\Leftrightarrow \frac{1}{2}\left[U_m(p) - E(p) \right] = \frac{R_m}{L_m} I_m(p) + p I_m(p)$$

donc $\dfrac{I_m(p)}{U_m(p) - E(p)} = \dfrac{\frac{1}{R_m}}{1 + \frac{L_m}{R_m} p}$

$\Pi(p) = \dfrac{1}{R_m} \times \dfrac{1}{1 + \tau_m p}$ avec τ_m

hacheur

$$V_{B0} = \alpha_B U_{BATT} = (1 - \alpha_A) U_{BATT}$$

$$\Rightarrow U_\Pi = V_{A0} - V_{B0}$$
$$= \alpha_A U_{BATT} - (1 - \alpha_A) U_{BATT}$$
$$= U_{BATT} (2\alpha_A - 1)$$

au repos $U_\Pi = 0 \Leftrightarrow \alpha_A = \frac{1}{2}$

Comme $U_{m_0} + \tilde{U}_m(t) = 2\left[(\alpha_0 + \tilde{\alpha}(t)) - 1 \right] U_{BATT}$

$$= 2\left[\left(\frac{1}{2} + \tilde{\alpha}(t) \right) - 1 \right] U_{BATT}$$

$$\tilde{U}_m(t) = 2 \tilde{\alpha}(t) U_{BATT}$$

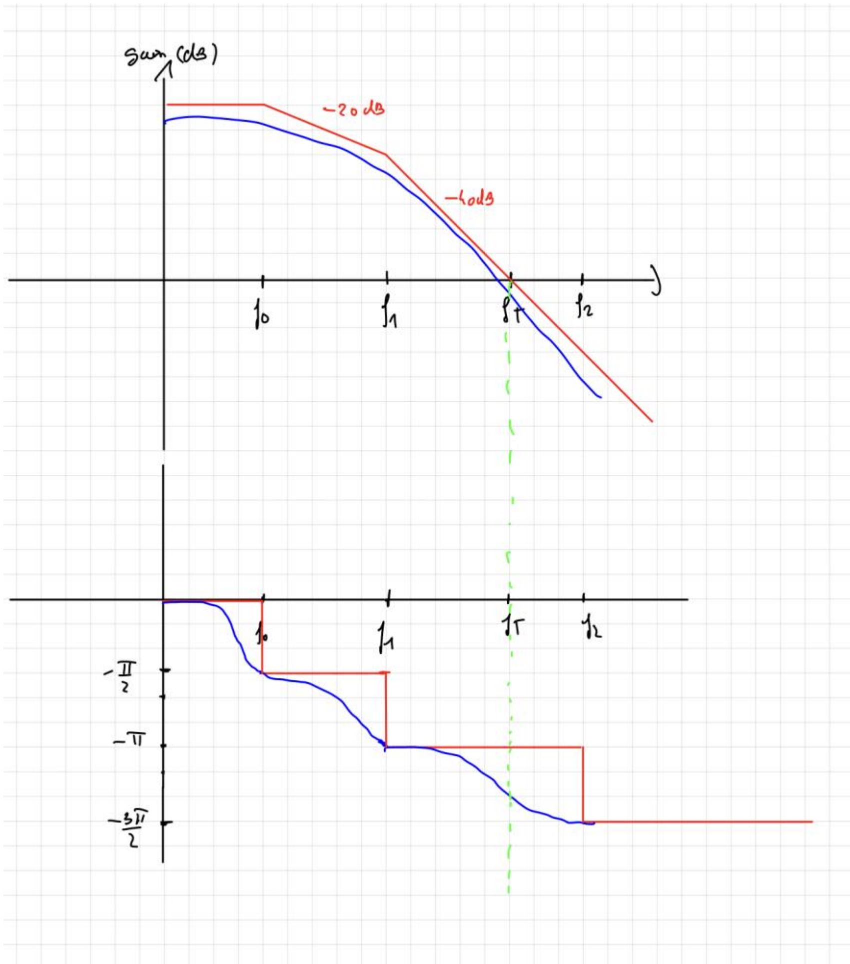
$$\frac{\tilde{U}_m(t)}{\tilde{\alpha}(t)} = 2 U_{BATT}$$

$$H(p) = 2 U_{BATT}$$

$$H(p) \times \Pi(p) = \frac{\frac{2 U_{BATT}}{R_m}}{1 + \tau_m p} = \frac{K_m}{1 + \tau_m p}$$

Correcteur:

Le diagramme de bode du système sans correcteur en boucle ouvert nous permet de discuter de la stabilité de ce dernier.



L'objectif étant d'éliminer le pôle dominant de la FTBO on opte donc pour un correcteur PI

On a donc FTBO=$\frac{Kf}{(1+\tau 1 \cdot p)\cdot(1+\tau 2 \cdot p)}$*S$\frac{Km}{1+\tau m \cdot p}$*$\frac{(1+\tau 3 \cdot p)}{\tau_i \cdot p}$

Le pôle dominant étant τ_m on a donc τ_m=$\tau 3$ =$\frac{Lm}{Rm}$

C(p)=$\frac{(1+\tau_m \cdot p)}{\tau_i \cdot p}$

Pour trouver τ_i on évalue le module de la Fonction de transfert en boucle ouvert à la fréquence de transition, à cette fréquence le module de la FTBO vaut 1

FTBO(p)=R(p)*C(p)*G(p)

=$\frac{Kf}{(1+\tau 1 \cdot p)\cdot(1+\tau 2 \cdot p)}$*S*$\frac{Km}{1+\tau m \cdot p}$*$\frac{(1+\tau m \cdot p)}{\tau i \cdot p}$

|FTBO($j \cdot 2 \cdot \pi \cdot Ft$)|=1

F1=$\frac{1}{2\pi\tau 1}$

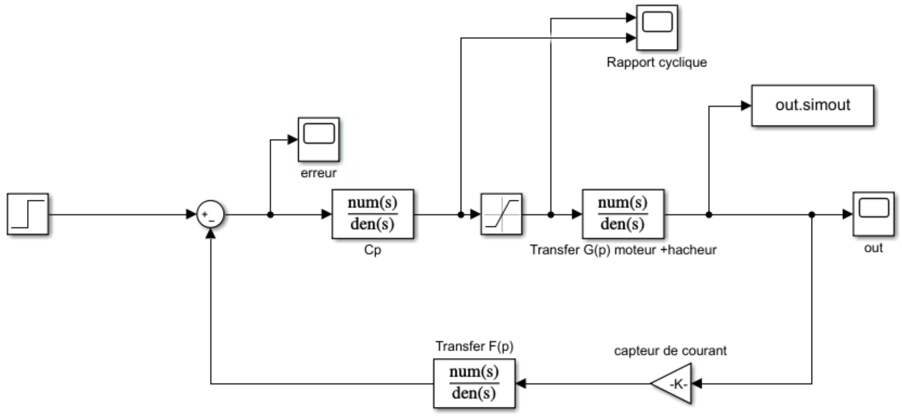
F2=$\frac{1}{2\pi\tau 2}$

$$\tau i = \frac{Km \cdot Kf \cdot S}{2\pi Ft \cdot \sqrt{\left(1+\left(\frac{Ft}{F1}\right)^2\right)} \cdot \sqrt{\left(1+\left(\frac{Ft}{F2}\right)^2\right)}}$$

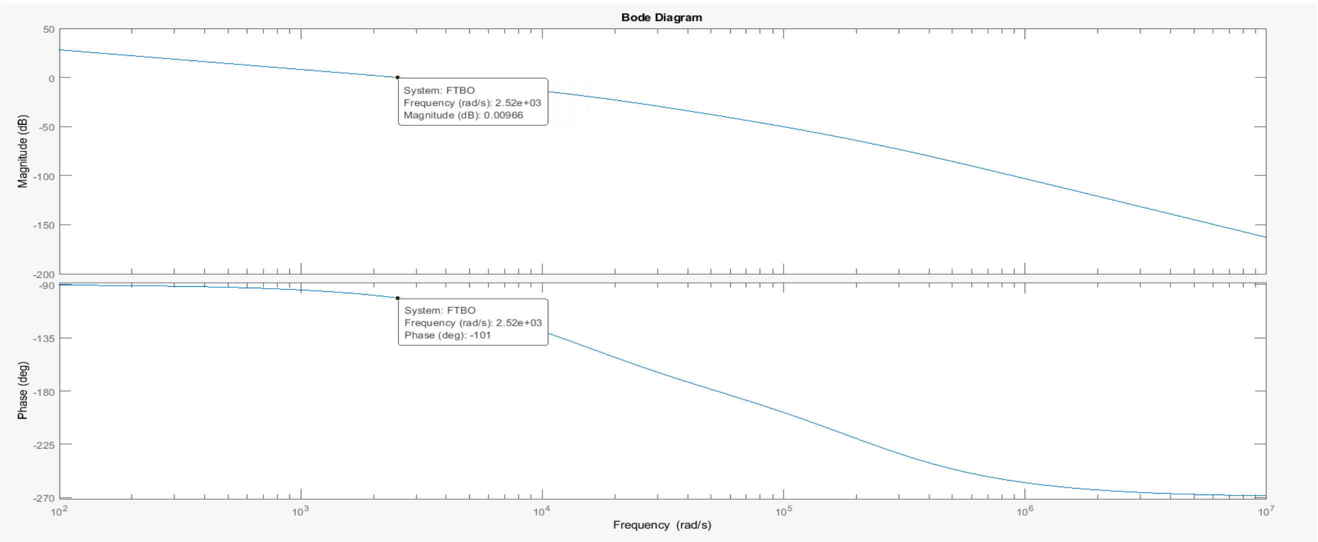
$=0.0027$

Vérification des spécifications sur Matlab

Ce schéma bloc sera utilisé pour faire les vérification.

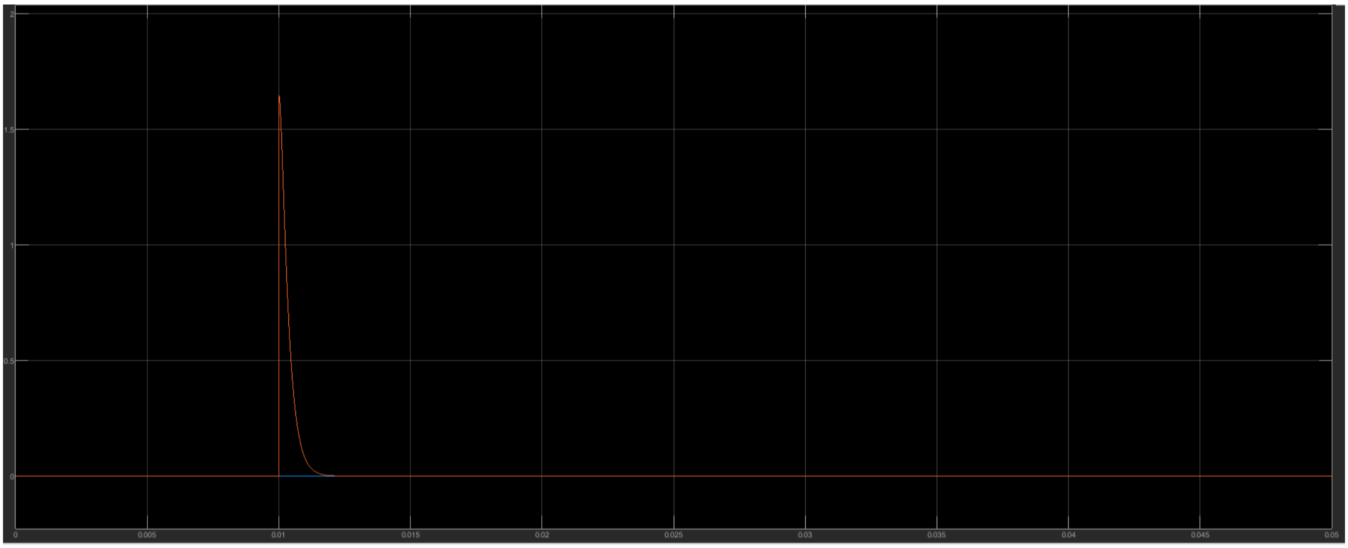


Bode du système en boucle ouverte avec le correcteur :



On une fréquence de transition de 2520rad/s soit 400Hz et une marge de phase de 80°

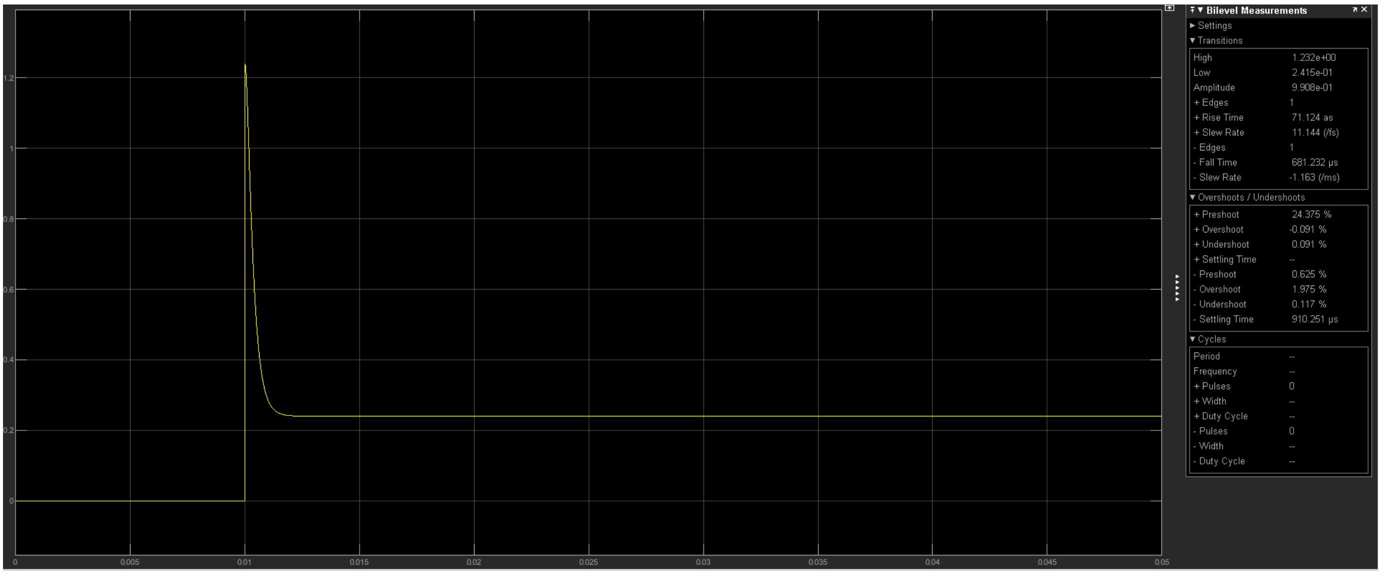
Vérification de l'erreur statique :



On a bien une erreur statique nul

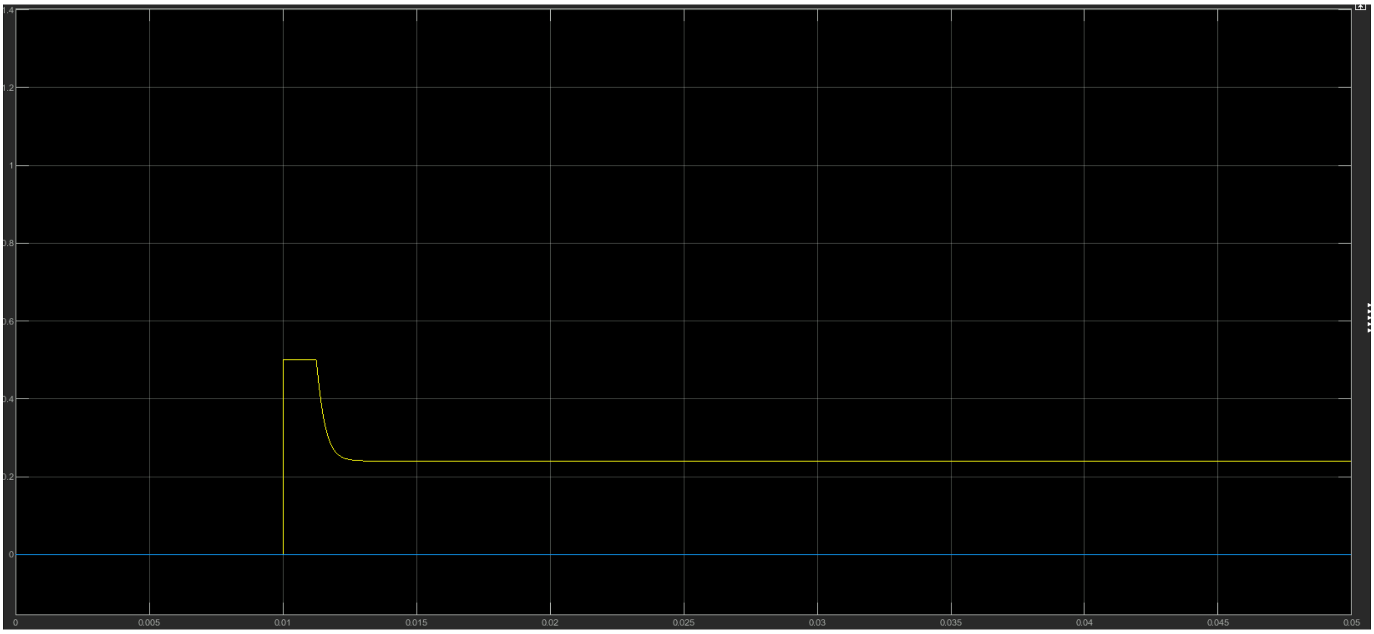
Le pic est dû à l’injection brusque de 1.65 V

Rapport cyclique :



Le rapport cyclique désiré est autour de 0.5 ici on un rapport cyclique de 1.12.

On ajoute un saturateur qui va nous permettre de limiter notre rapport cyclique entre -0.5 et 0.5.



L'ajout du saturateur a bien régler le problème.

Conclusion des simulations :

Les spécifications sont bien respectées

Transformée bilinéaire

P=$\frac{z-1}{z+1} \cdot \frac{2}{Te}$

On à C(p)=$\frac{(1+\tau m \cdot p)}{\tau i \cdot p}$

Donc C(z)=$\frac{z \cdot \frac{(Te+2\cdot\tau m)}{2\cdot\tau i}+\frac{(Te-2\tau m)}{2\tau i}}{z-1}$

Te=200μs

Equation de récurrence

C(z)=$\frac{\alpha(z)}{\varepsilon(z)}$

$$\frac{z \cdot \frac{(Te+2\cdot\tau m)}{2\cdot\tau i}+\frac{(Te-2\tau m)}{2\tau i}}{z-1} = \frac{\alpha(z)}{\varepsilon(z)}$$

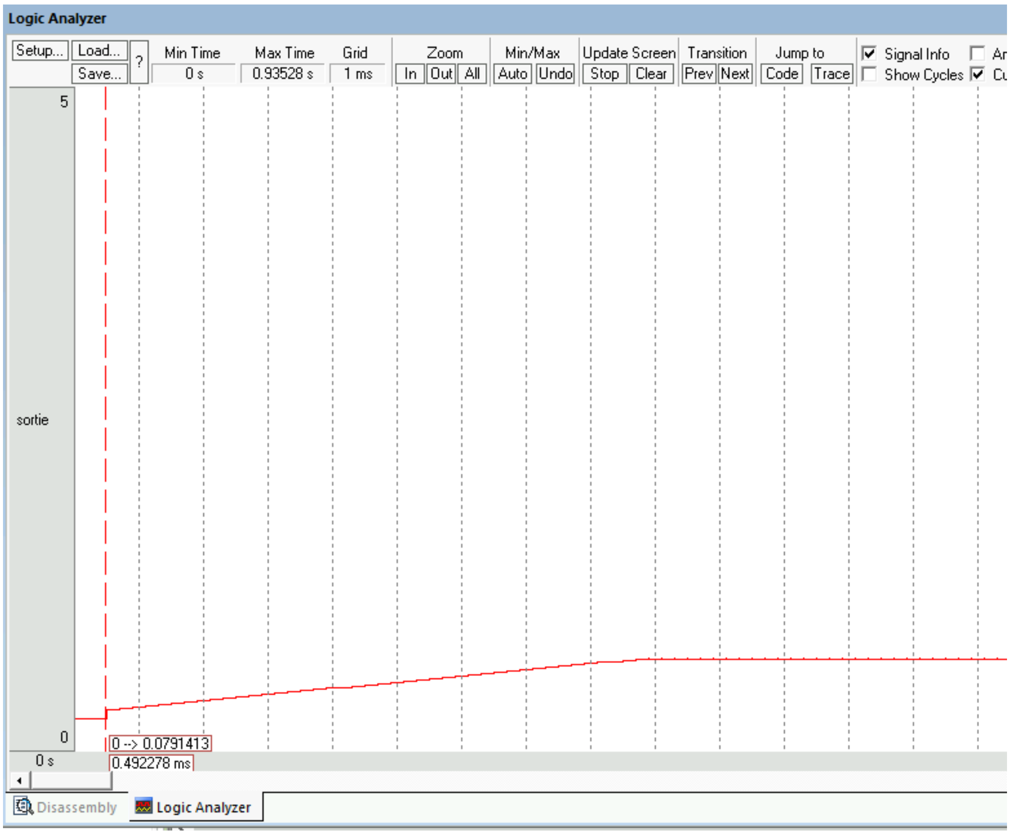
$$\varepsilon(z) \cdot z \cdot \frac{(Te+2\cdot\tau m)}{2\cdot\tau i} + \varepsilon(z)\frac{(Te-2\tau m)}{2\tau i} = \alpha(z) \cdot z - \alpha(z)$$

$$\varepsilon(k+1) \cdot \frac{(Te+2\cdot\tau m)}{2\cdot\tau i} + \varepsilon(k)\frac{(Te-2\tau m)}{2\tau i} = \alpha(k+1) - \alpha(k)$$

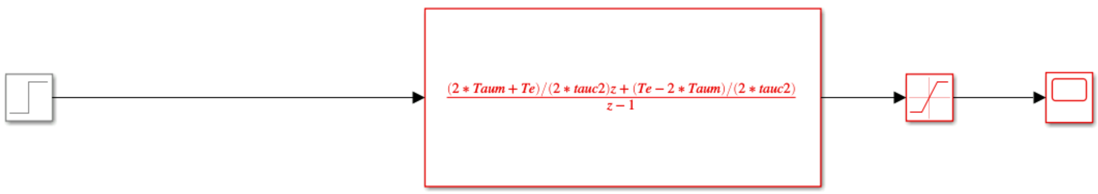
$$\varepsilon(k) \cdot \frac{(Te+2\cdot\tau m)}{2\cdot\tau i} + \varepsilon(k-1)\frac{(Te-2\tau m)}{2\tau i} + \alpha(k-1) = \alpha(k)$$

Comparaison entre les résultats de simulation obtenue sur Keil et sur Matlab.

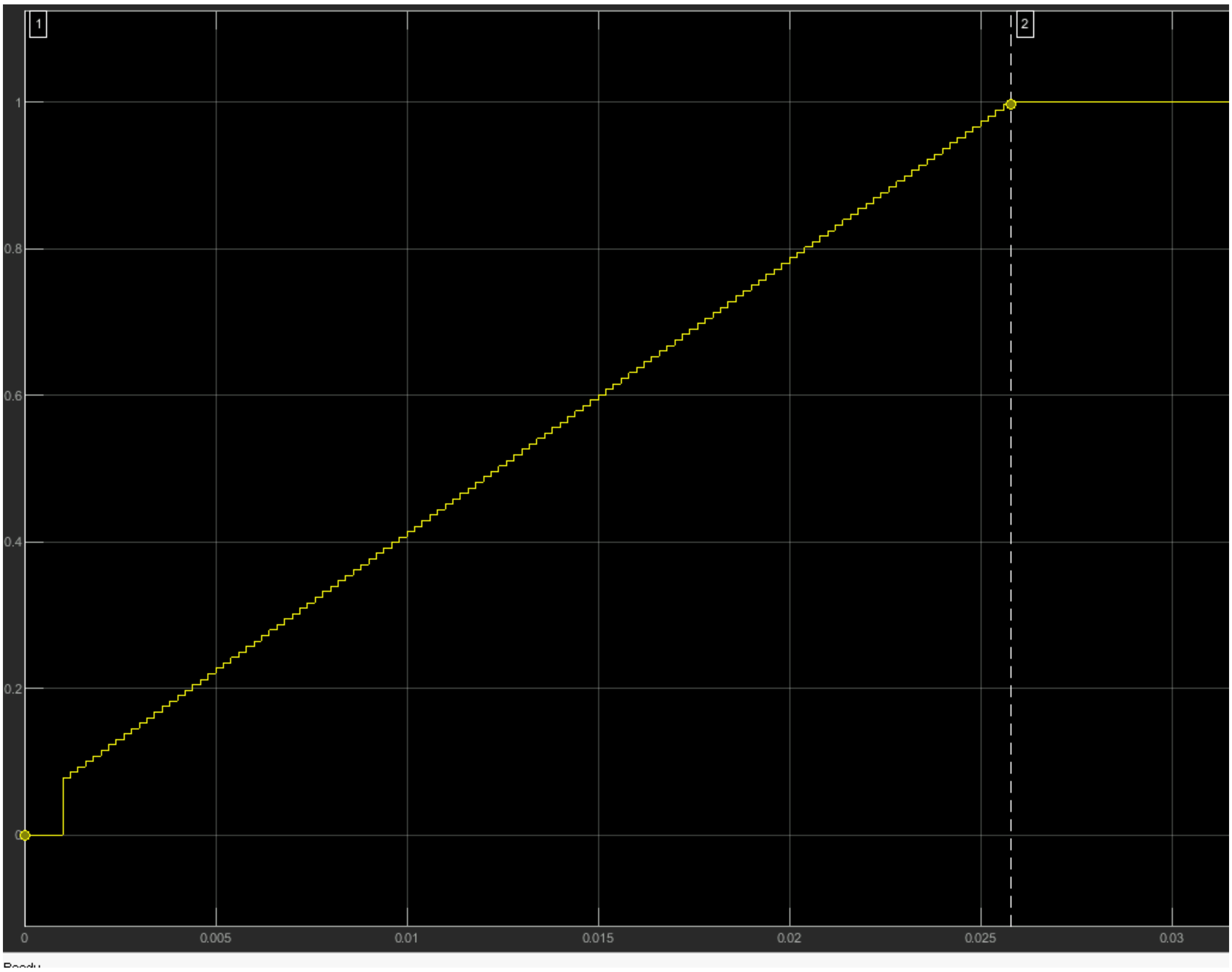
Keil:



Sous Matlab on utilise ce schéma bloc pour effectuer la simulation.



Matlab:

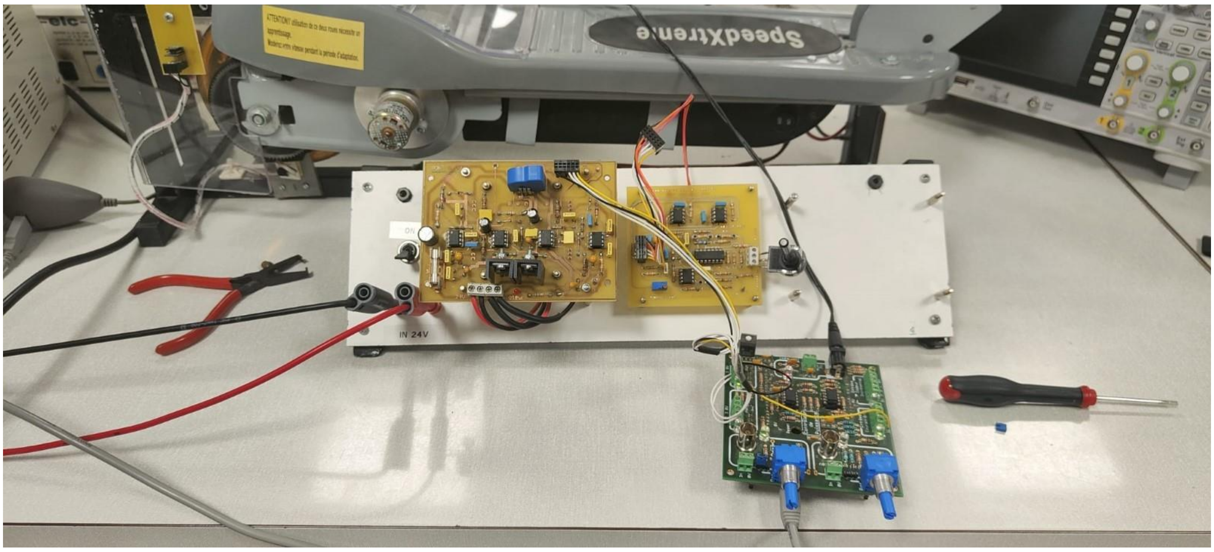


On remarque que les durée et les valeurs des steps sont semblable

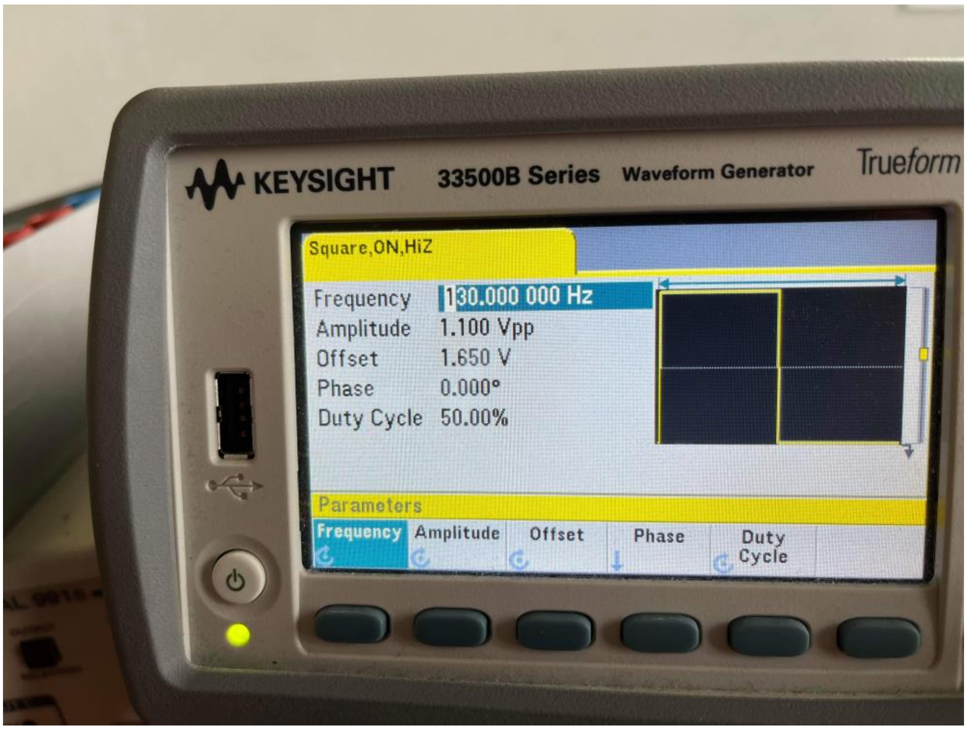
Test en Temps réel

Tout d'abord on test la maquette. On commence par régler l'alimentation sur 24 V puis on fait tourner le potentiomètre dans un sens puis dans l'autre pour faire tourner la roue.

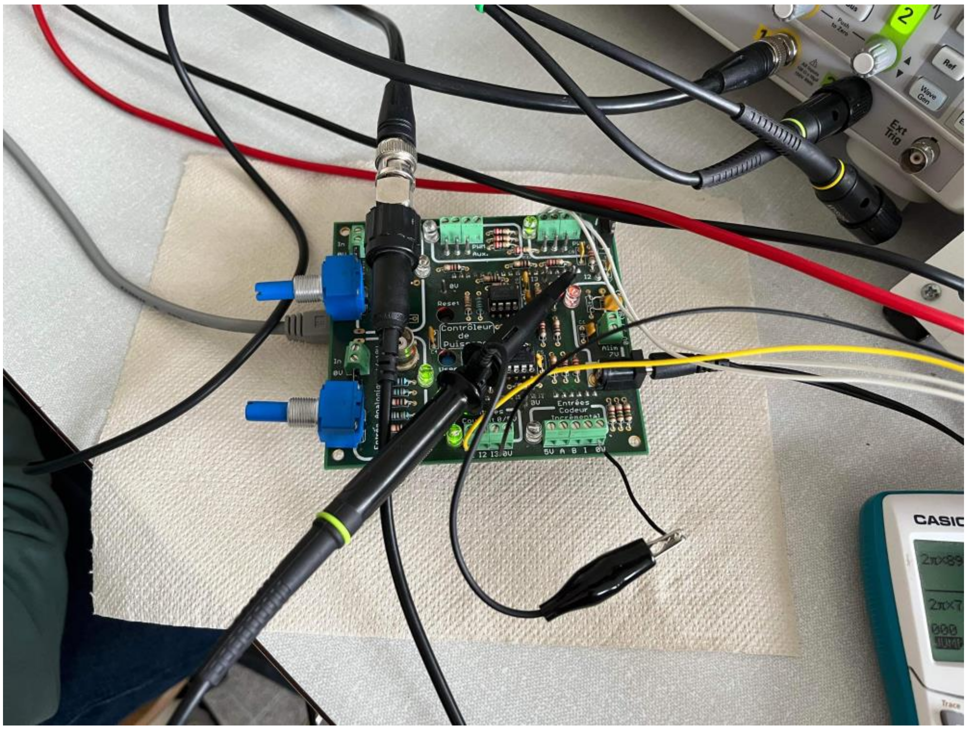
Ensuite on connecte la carte STM32 comme ci-dessous.

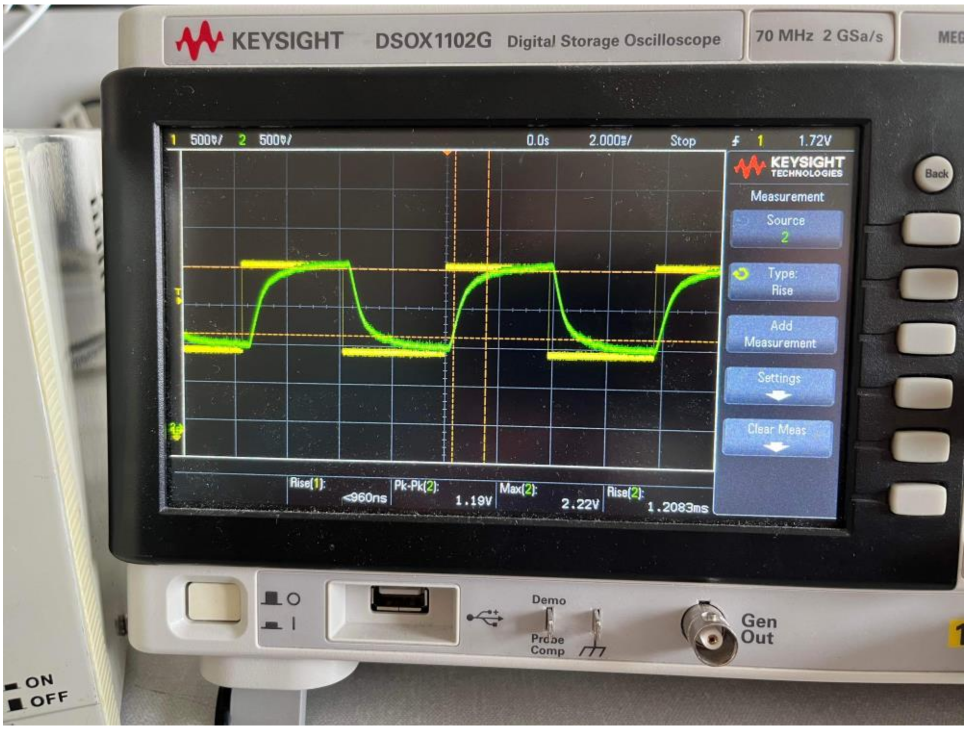


On envoie ensuite un signal carré.



On se branche l’oscilloscope sur I1 et on mesure la tension.





En jaune le signal carré et en vert le signal de sortis, on remarque que l'erreur est presque nul, la marge de phase et la fréquence de transition est conforme aux exigences donc on peut valider notre conception.

Conclusion

Ce BE étant peu guidé cela nous a permis de gagner en autonomie, il nous a aussi permis de réutilisée dans un cas concret nos compétences tel que la mise en place de correcteurs et l'étude complète d’un système en partant de son schéma bloc qui sont des notions vues dans les années précédente.

Et pour finir ce BE nous a appris à d’abord poser nos idées et nos calculs à l’écrit puis de les vérifier par la suite par des simulations.