Mathis EDDAM

Antoine BARBET

2A ISN

Compte-rendu TP 1 et 2

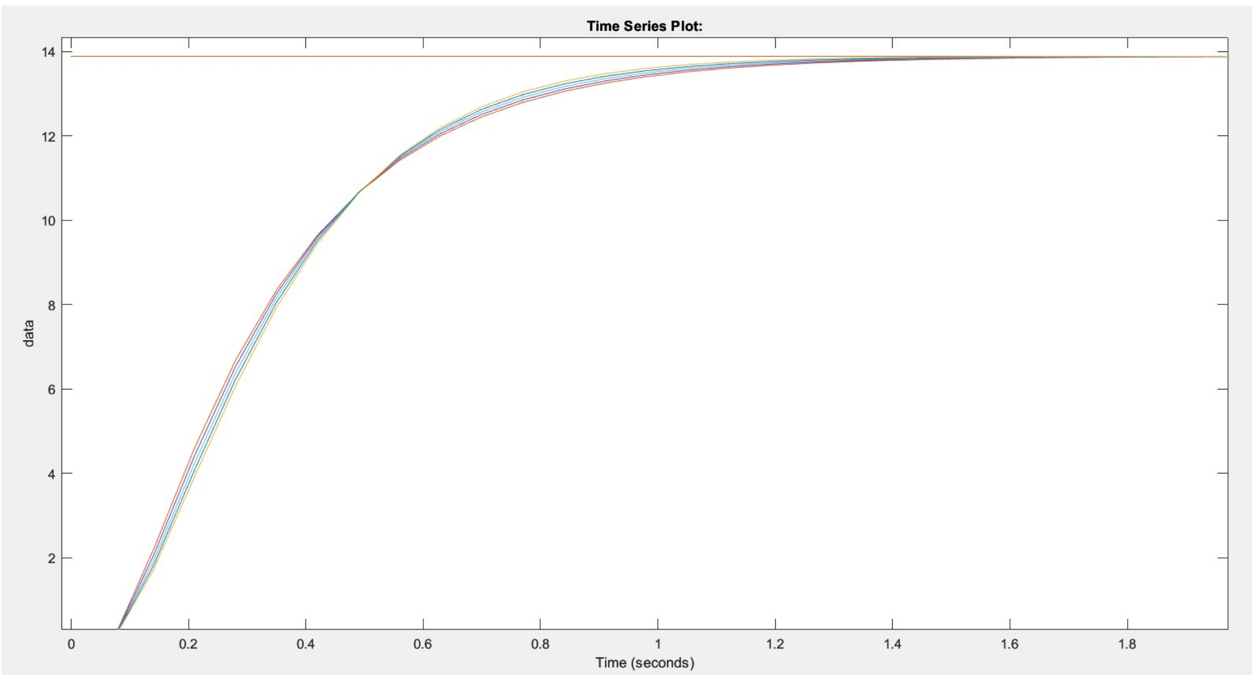
Commande numérique : Régulation de vitesse anti-windup

Le but de ce TP est de contrôler la vitesse d'une rame de métro suivant un cahier des charges fourni et de sorte à ce que les passagers ne soient pas bousculés.

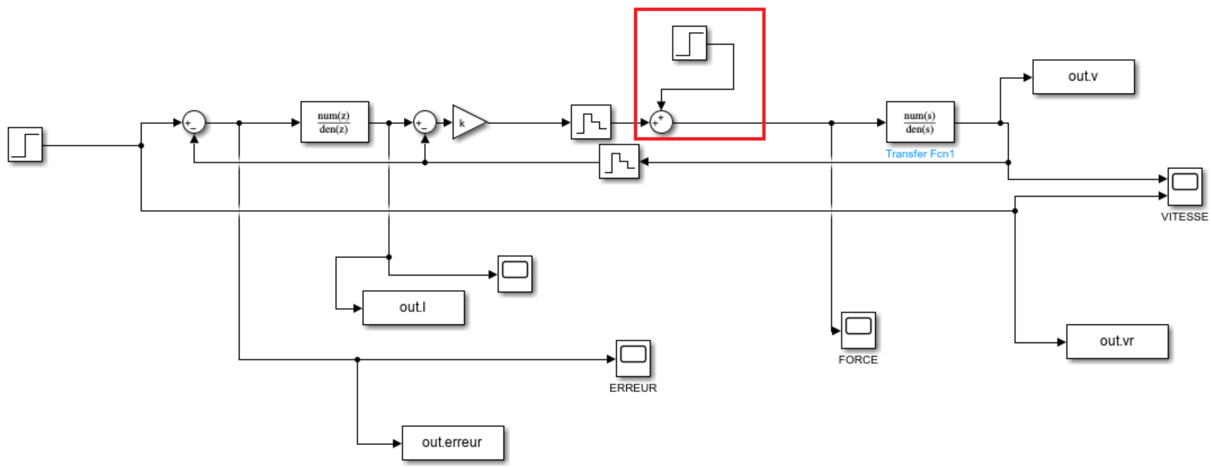
Dans un premier temps, nous allons créer le schéma du système sur Simulink sans perturbation pour l'instant. Nous ajoutons quand même le correcteur intégral ici en prévention pour gérer la perturbation qu'on ajoutera plus tard.

Selon le cahier des charges, la masse du système doit être comprise entre 140 et 180 tonnes. Nous effectuons les tests pour plusieurs valeurs et nous en concluons que nous utiliserons une masse de 180 tonnes dans la suite du TP (bien que notre système fonctionne correctement pour toutes les masses comprises entre l'intervalle du cahier des charges).

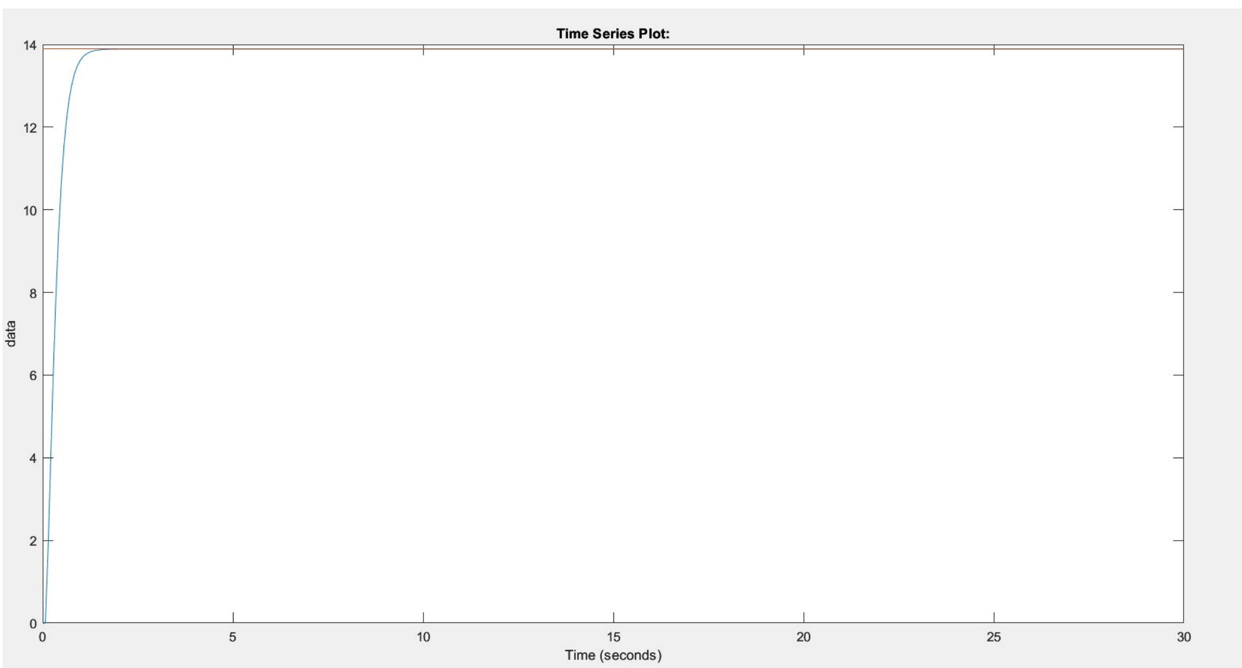
Voici les courbes pour différentes masses avec un pas de 10 tonnes :



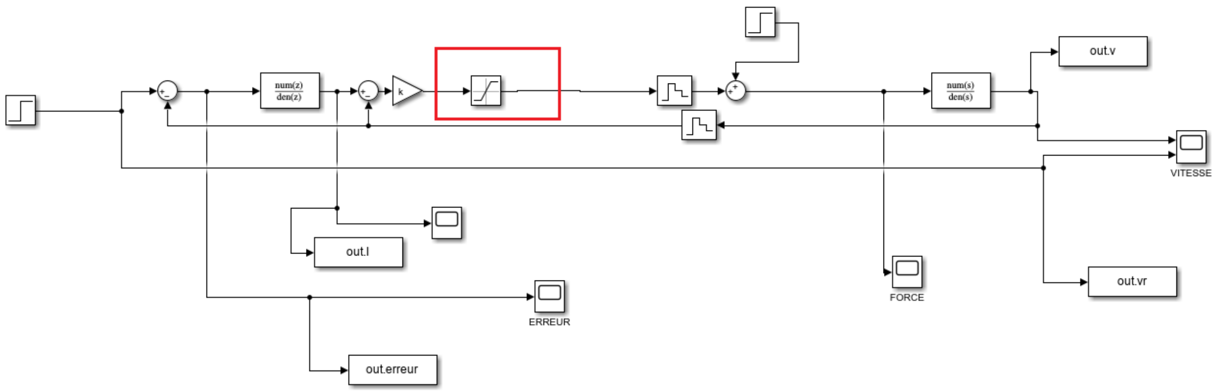
Nous allons maintenant ajouter une perturbation à notre système selon le cahier des charges comme suit :



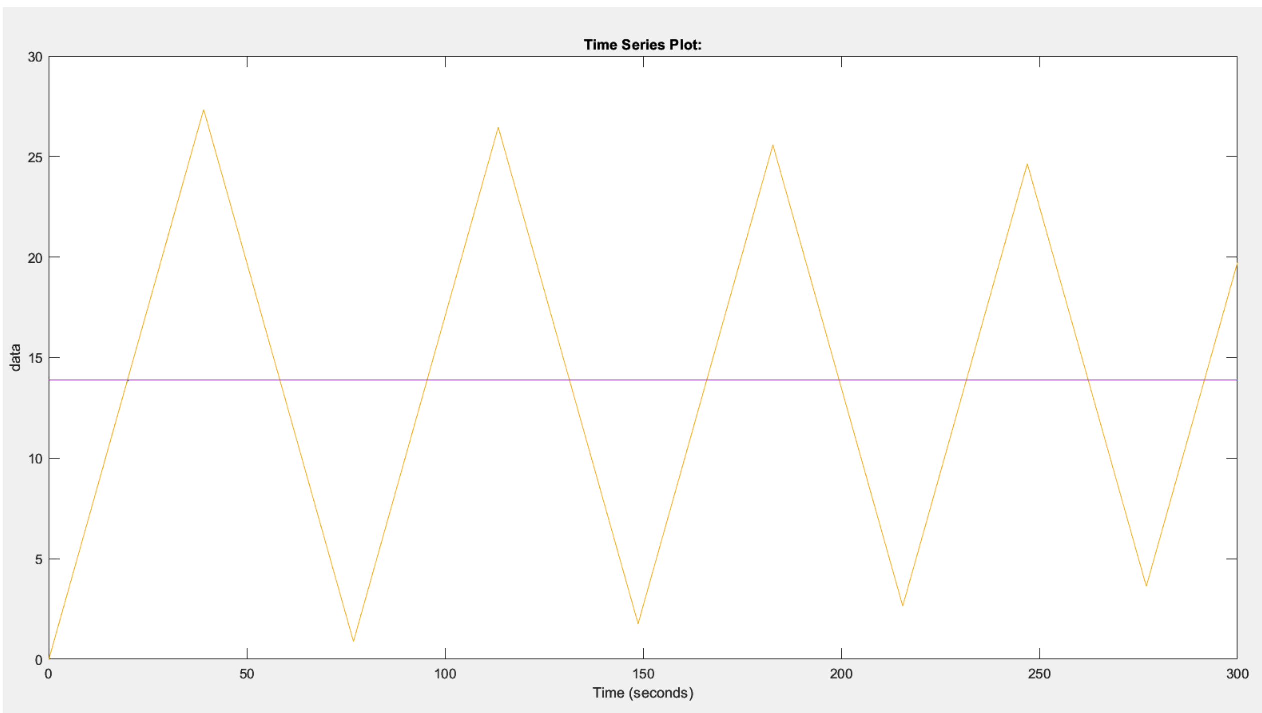
Voici la vitesse obtenue :



Une fois que tout fonctionne correctement, ajoutons la saturation demandée.



Et voici la vitesse obtenue en sortie de ce système :



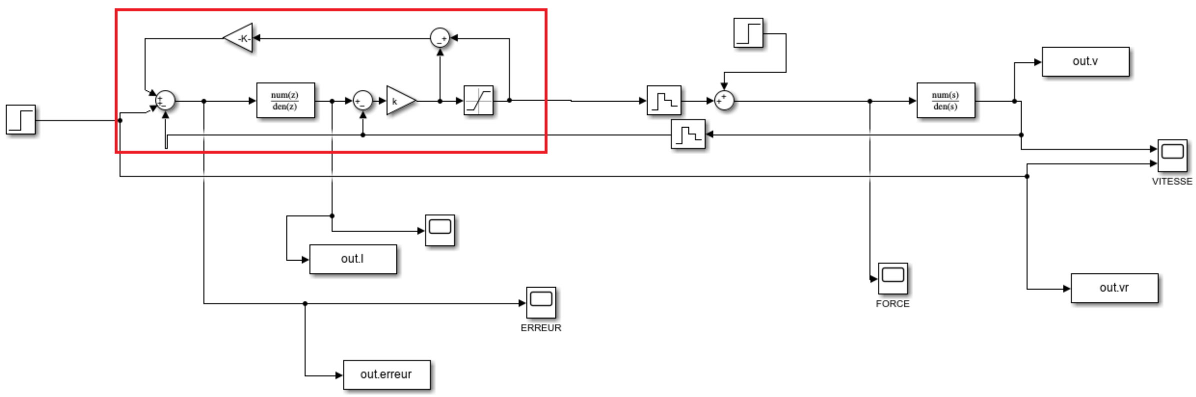
Nous constatons que le système se comporte étrangement. Nous appelons ce phénomène l'effet « windup ». Cet effet est dû à l'opérateur intégral qui envoie une trop grande valeur à notre système, lequel ne peut pas se stabiliser correctement. Nous souhaitons donc saturer la vitesse du système une fois qu'elle dépasse l'asymptote.

Pour ce faire, nous allons ajouter une boucle à notre système, de sorte à comparer l'entrée et la sortie du bloc de saturation pour détecter quand est-ce que la vitesse est saturée. Lorsqu'elle le devient, un signal qu'on appellera « En » sera envoyé en entrée de notre intégrateur pour le réguler.

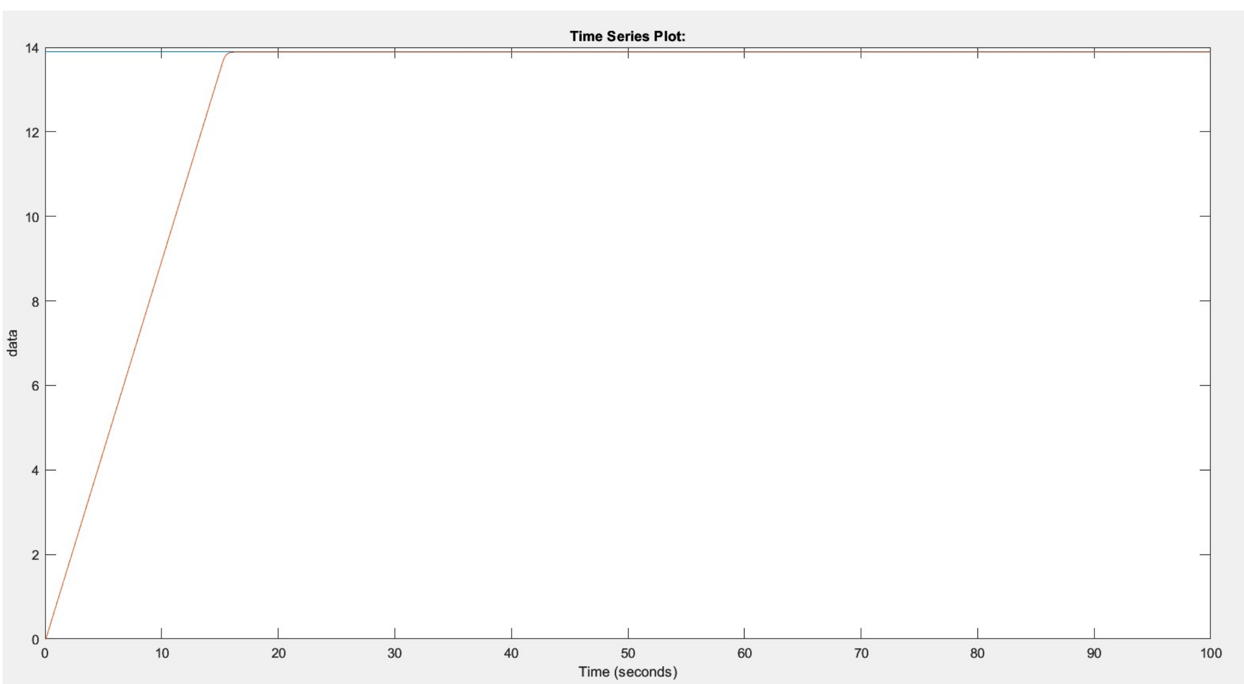
Il faut maintenant déterminer ce « En » comme suit :

$$E_m = \left(-F + sat(F)\right)\frac{T_i}{T_e * K}$$

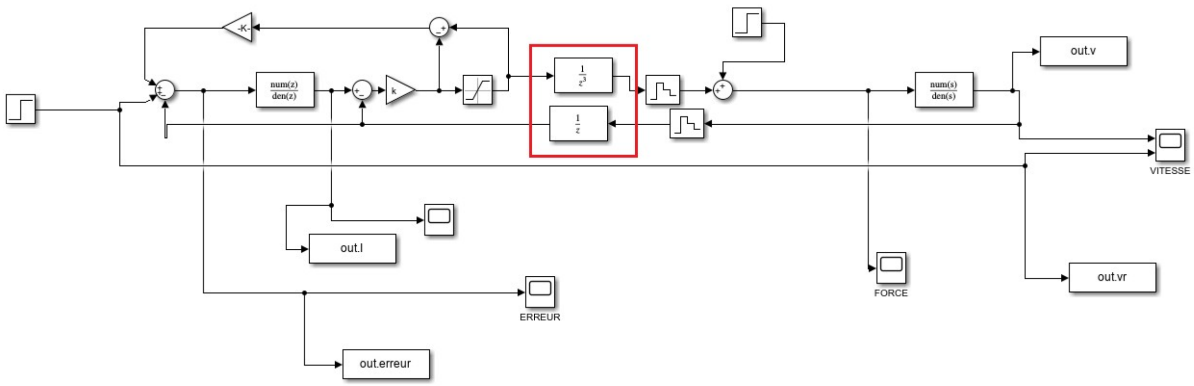
Une fois déterminé, ajoutons-le à la boucle de notre système.



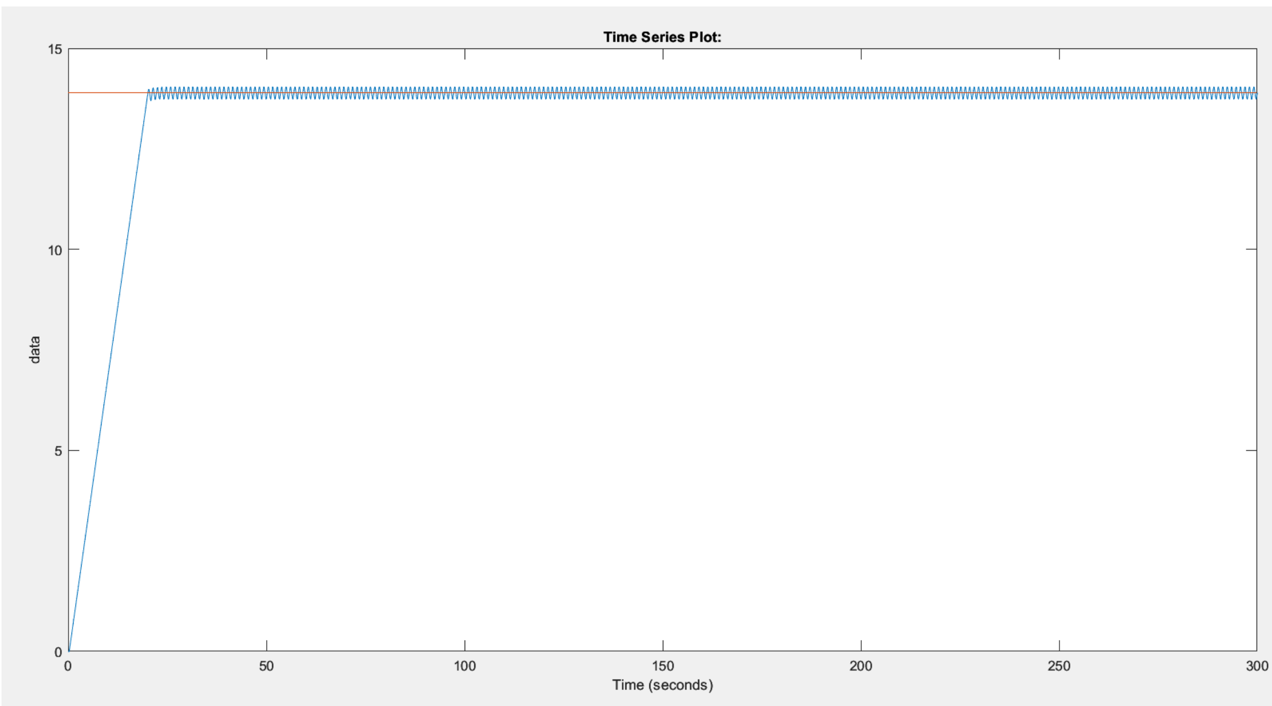
Voici ce que l'on obtient :



Cependant, il y a un léger délai entre la commande choisie et l'effet sur le système. Nous représenterons le délai par une fonction z^-3 à avant le premier bloqueur d'ordre zéro et par une autre fonction z^-1 après le second bloqueur d'ordre 0.

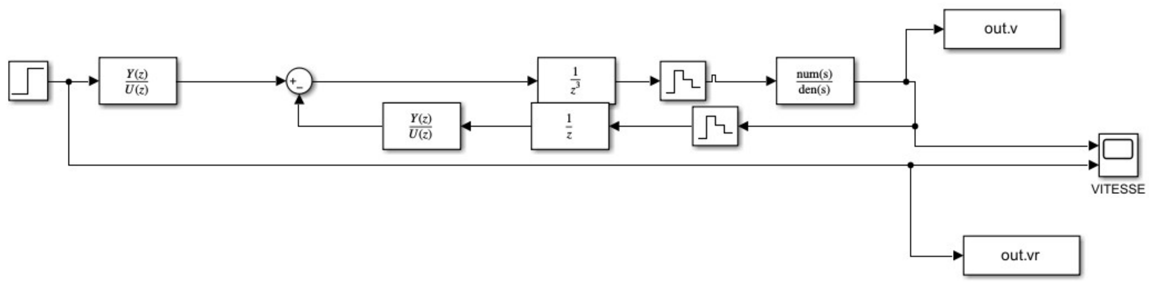


Cela a pour effet sur le système de créer de rapides oscillations autour de l'asymptote comme suit :



Ce qui empêche à la vitesse de diverger est le bloc de saturation, sans celui-ci la vitesse partirait à l'infini.

Recréons le nouveau système RST suivant :



Il faut que les fonctions de transfert soient causales, c'est-à-dire que leur dénominateur doit avoir un degré plus élevé que leur numérateur.

Tout d'abord, nous devons définir G(z) qui est la fonction de transfert en z de la partie comprise entre les bloqueurs d'ordre zéro de la manière suivante :

$$G(z)=(1-z¿¿-1)L^{-1}\left(\frac{1}{M\,p^2}\right)¿G(z)=\frac{Te/M}{z-1}=\frac{B(z)}{A(z)}$$

De plus, grâce au cahier des charges nous allons pouvoir définir une structure sur R(z) et T(z) ainsi qu'imposer leurs pôles en boucle fermée. Le cahier des charges nous dit :

- Erreur statique nulle
- Pas de dépassement
- Temps de réponse = 1 seconde

On en déduit :

- $R(z)=(z-1)\widetilde{R}(z)\,et\,T(1)=S(1)$
- $\xi=1$
- $\omega=5\,rad/s$

Les polynômes R, S, T et P tilde devront respecter des contraintes de degré dû à la contrainte de causalité mentionnée plus haut. En effet, $deg(R)\geq deg(T)=0\,et\,deg(R)\geq deg(S)$.

Or, $R=(z-1)\widetilde{R}\,donc\,deg(R)=deg(\widetilde{R})+1$

Donc $deg(\widetilde{R})\geq deg(T)-1\,et\,deg(\widetilde{R})>deg(S)-1$

Pour avoir une solution pour la boucle fermée, il faut que le nombre d'inconnues soit supérieur au nombre d'équations. Le nombre d'inconnues sont les coefficients de R tilde et de S.

$$S(z) = z^4 (s_0 + s_1 z)$$

$$\tilde{R}(z) = r_0 + r_1 z + r_2 z^2 + r_3 z^3 + r_4 z^4$$

2 inconnues pour $S(z)$ et 5 pour $\tilde{R}(z)$

Enfin, nous devons choisir une solution minimale en R tilde et en S. […]

Pour avoir une solution non nulle pour R, il faut nécessairement que le degré de P tilde valle 8. Pour que le membre de droite de l'équation corresponde au premier facteur, il faut que P tilde soit négligeable, autrement dit que ses pôles en z valent 0. Donc $\widetilde{P}(z) = z^8$.

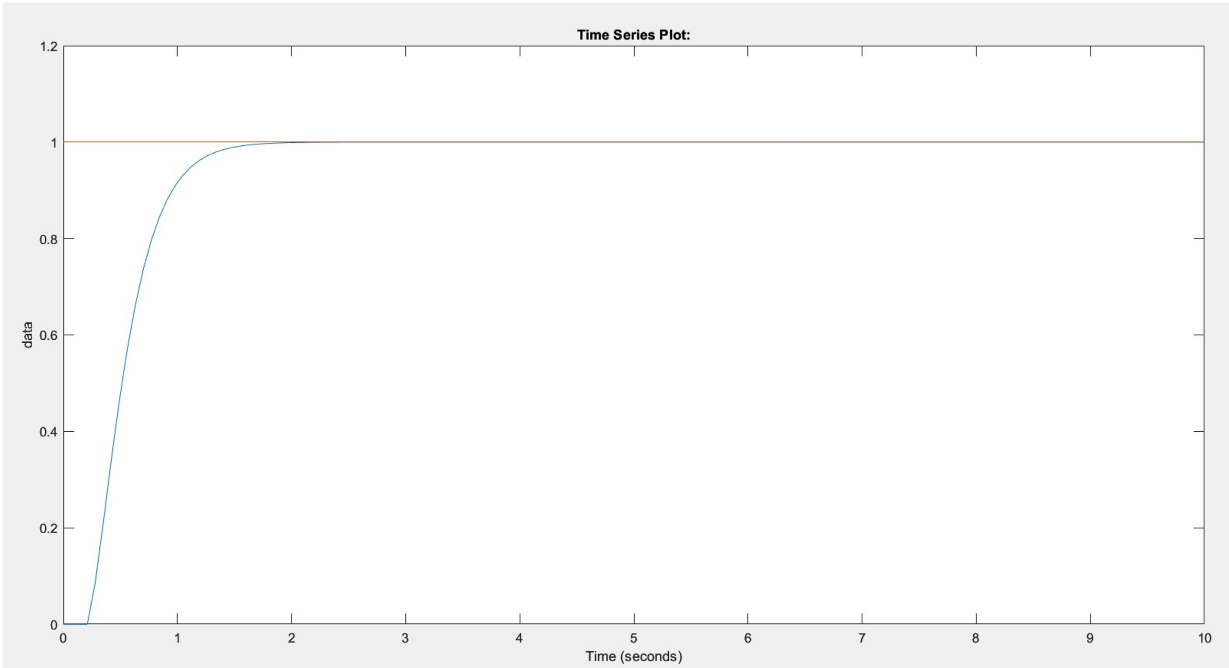
Pour R tilde et S, on a :

$$S(z) = z^4 (s_0 + s_1 z)$$

$$\tilde{R}(z) = r_0 + r_1 z + r_2 z^2 + r_3 z^3 + r_4 z^4$$

$$r_4 = 1$$
$$r_3 = 2 - 2e^{-5T_e}$$
$$r_2 = 2r_3 - 1 + e^{-10T_e}$$
$$r_1 = 2r_2 - r_3$$
$$r_0 = 2r_1 - r_2$$
$$s_1 = \frac{M}{T_e}(2r_0 - r_1)$$
$$s_0 = -\frac{M}{T_e} r_0$$

Une fois les polynômes R, S et T ajoutés au modèle, on obtient le résultat suivant :



On peut observer d'ailleurs le retard de quelques millisecondes au début.