

Compte rendu automatique

Adam SINKOVICS, Mahdi MOUNZER, Jimmy NIYONKURU

2023-2024

Description et but du TP

Lors des séances de TP en automatique, il nous est demandé d'identifier deux systèmes inconnus, chacun mesurable sur des sorties différentes d'une boîte. Le but est d'identifier, modéliser les systèmes, puis les asservir. Nous avons effectué ces études sur la boîte numéro 10.

Pour étudier ces systèmes, on utilise un générateur à basse fréquences, un oscilloscope et une alimentation afin d'alimenter la boîte.

Étude

1.1 Réponse harmonique

Lorsque le système étudié est *linéaire*, on observe en sortie un signal sinusoidal pour une entrée de signal sinusoidal. Il est donc possible d'écrire la *fonction de transfert* du système étudié, qui décrit les caractéristiques du signal de sortie par rapport à celui d'entrée. La fonction de transfert est une fonction complexe dont le module représente *l'amplification dans la bande passante* du système, c'est-à-dire pour une entrée constante dans le temps par combien le système amplifie-t-il le signal d'entrée (ou le mot "amplifie" ne signifie pas forcément une augmentation de la valeur du signal), et dont l'argument représente le *déphasage* du signal de sortie par rapport à l'entrée, c'est à dire par combien (mesuré en radians) est la sortie en retard ou en avance par rapport à l'entrée.

1.1.1 Théorie

Si on souhaite étudier, en traçant les diagrammes de Bode ou de Black, tels systèmes, il est important de d'abord déterminer la nature du système. Pour ce déterminer, on soumet le système à des fréquences de grandeurs différentes et on compare les sorties. Si le système blah blah blah

1.1.2 Pratique

Système 1

Après avoir branché la première sortie de la boîte sur le générateur et l'oscilloscope, on a déterminé que notre système est de type passe-bas, puisque pour des fréquences faibles, l'amplification variait peu, mais en augmentant la fréquence de l'entrée l'amplification mesurée sur la sortie diminuait. Pour tracer le diagramme de Bode et de Black, on mesure d'abord la fréquence de coupure à $-3dB$. Pour faire cela on soumet le système à une entrée de fréquence faible ($f_e < 1Hz$) et on mesure l'amplitude de la sortie, qu'on divise par l'amplitude de l'entrée pour obtenir l'amplification dans la bande passante A de notre système. Il est également possible, vu qu'on sait que le système est un filtre de type passe-bas, qu'on le soumet à un échelon (avec le générateur on délivre un signal carré de faible fréquence), et on mesure l'amplitude de la sortie en *régime permanent* c'est-à-dire lorsque la variation de l'amplitude de la réponse est faible. Ceci est garanti par le fait que le système soit linéaire. Le régime permanent est visible sur la figure dans une *demi-période* du signal de la sortie lorsque la courbe devient horizontale.

Ici on a mesuré $A = 1.8$

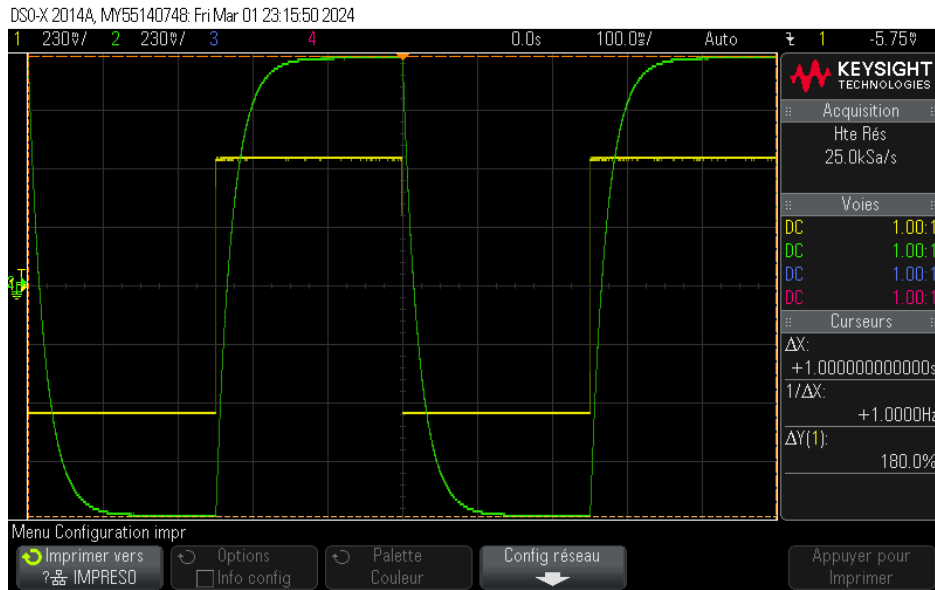


Figure 1.1: Image de l'oscilloscope lors la mesure de A pour le premiere systeme

Une fois A connue, sachant que la fréquence de coupure a $-3dB$ f_{-3dB} représente

$$20 \cdot \log(|A|) - 3dB = 20 \cdot \log(|A|) + 20 \cdot \log\left(\frac{1}{\sqrt{2}}\right) = 20 \cdot \log\left(\frac{|A|}{\sqrt{2}}\right)$$

on sait qu'on cherche une fréquence pour laquelle l'amplitude de la sortie est $S_{-3dB} \simeq 0.7 \cdot A$, autrement dit 70% de l'amplitude dans la bande passante. En connaissant f_{-3dB} on peut commencer a mesurer l'amplification (le rapport sortie / entrée) et le déphasage de notre systeme, pour des valeur écarté sur l'échelle logarithmique, mais plus serré autour la fréquence f_{-3dB} .

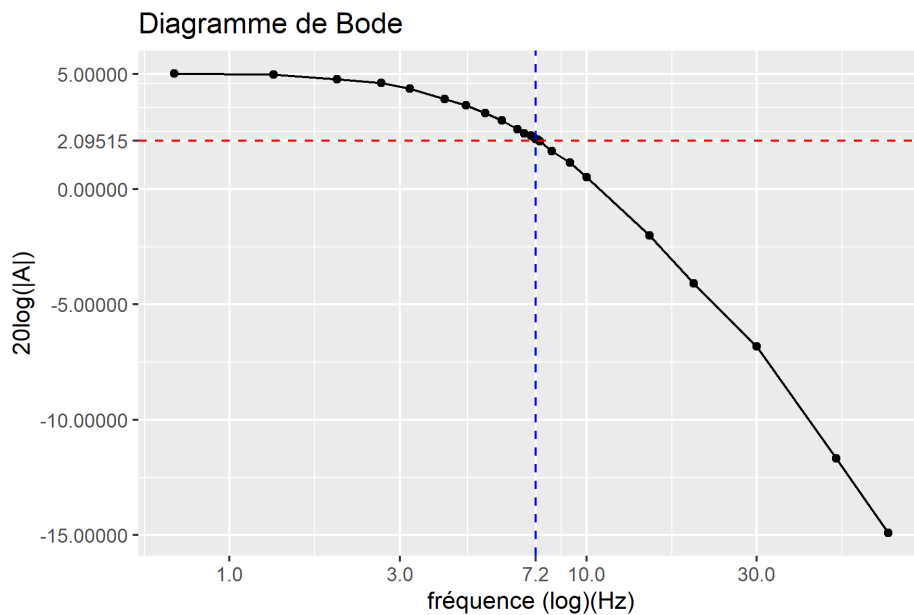


Figure 1.2: Diagramme de Bode pour le premiere systeme

Il est important de noter ici le fait que sur le graphique on a l'impression que l'intersection des deux droites n'est pas exactement sur la courbe. Il est vrai qu'une valeur de $7.4Hz$

corresponderais mieux sur le graphe pour f_{-3dB} mais expérimentalement on a mesuré un déphasage de -45 deg a une fréquence de $7.2Hz$, c'est pour cela qu'on a décidé de garder cette valeur.

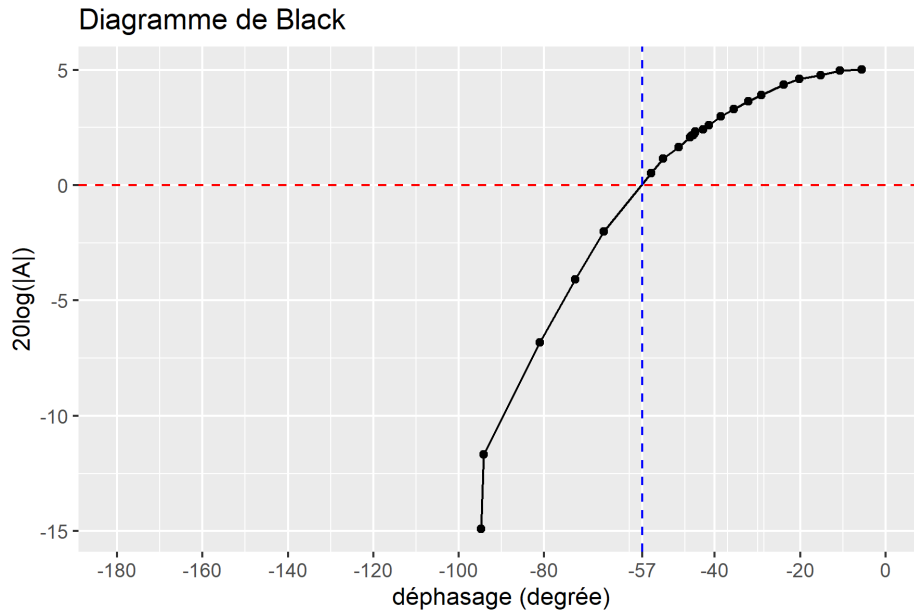


Figure 1.3: Diagramme de Black pour le premiere systeme

Il est possible de déterminer la marge de phase en calculant graphiquement depuis la figure 1.3 , la difference entre -180 et le point d'intersection de la courbe avec l'axe des abscisses. Dans notre cas:

$$M_{ph} = -57 - (-180) = 123$$

La marge de phase est orienté selon les valeurs de l'abscisse croissantes.

Systeme 2

1.2 Réponse indicielle

Dans cette deuxieme partie on va s'interesser a l'identification des systemes, c'est a dire trouver une fonction de transfert, qui décrit au plus proche notre systeme. Il est demandé de tracer la *caractéristique statique* de notre systeme, qui est la courbe qui représente la sortie en fonction de l'entrée. Lorsque notre systeme est linéaire, la caractéristique statique est une droite de pente A , l'amplification. En réalité étant donné que le domaine linéaire de la caractéristique statique est toujours limité (par exemple par la tension de saturation des amplificateurs opérationnelles), c'est a dire que la droite n'a pas en tant que limite en $\pm\infty$ l'infini, deux points de cassures, a partir desquelles la pente devient nulle.

1.2.1 Système du première ordre

Pour les systemes de premiere ordre de type passe-bas, on peut décrire le systeme dans le domaine de Laplace par la fonction

$$F_1(p) = \frac{A}{1 + \tau p}$$

ou A représente l'amplification dans la bande passante (pour les passe-bas c'est aussi l'amplification statique, dans ce cas sans unité) et τ le constant de temps. Il est ici possible de déterminer l'amplification A en soumettant notre système à une entrée de type échelon de fréquence $f \ll 10Hz$. Ceci en réalité est faite en mettant un signal carré de fréquence faible. Pour mesurer τ il suffit de mesurer le temps de réponse à 5 pourcent c'est à dire le temps à partir duquel la réponse est autour de sa valeur en régime permanent en ne plus dépassant $\pm 5\%$ de cette valeur. On peut bien visualiser le régime permanent et transitoire au même temps, si on choisit une fréquence telle que le temps de réponse à 5% est égale à la moitié de la demi-période de notre signal d'entrée:

$$\frac{T_E}{4} = t_{5\%}$$

ou T_E est la période du signal d'entrée.

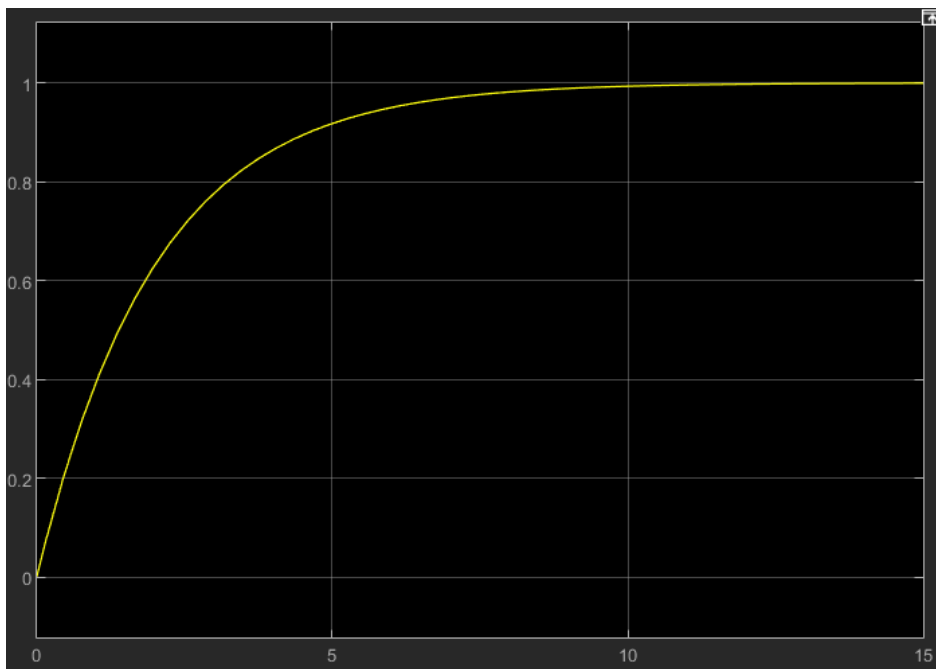


Figure 1.4: Réponse d'un système à première ordre

Lorsqu'on souhaite de mesurer ces caractéristiques avec un entrée harmonique (sinusoïdale) on peut soumettre le système à un signal sinusoïdale de fréquence basse, et on mesure le rapport des valeurs maximums des allures des sortie par rapport à l'entrée. Pour trouver τ on peut mesurer la fréquence de coupure à $-3dB$ en sachant que $f_{-3dB} = 2\pi\omega_0$ donc

$$\omega_0 = \frac{f_{-3dB}}{2\pi}$$

Il est maintenant facile à déterminer τ en connaissant la relation

$$\tau = \frac{1}{\omega_0}$$

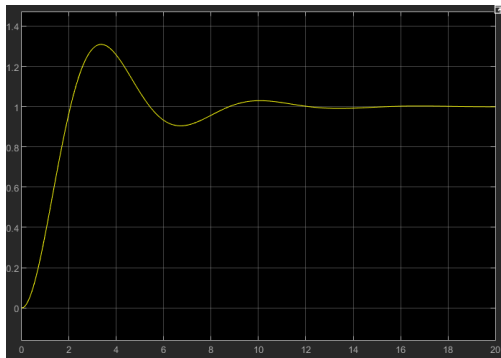
ou ω_0 est la pulsation de cassure à $-3dB$ et aussi la pulsation de coupure vu qu'il s'agit d'un système du premier ordre. Voir la figure 1.4 pour voir l'allure de la réponse d'un tel système.

1.2.2 Système du second ordre

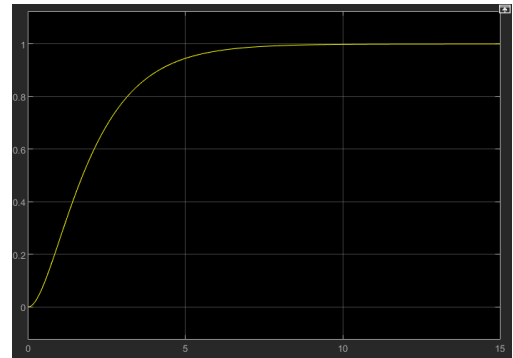
Les systèmes du second ordre de type passe-bas peuvent être décrits dans le domaine de Laplace par la fonction

$$F_2(p) = \frac{A}{1 + 2m\frac{p}{\omega_0} + \left(\frac{p}{\omega_0}\right)^2}$$

où A est l'amplification dans la bande passante (pour les passe bas l'amplification statique aussi), m est le *coefficient d'amortissement* et ω_0 est la pulsation de cassure de la fonction de transfert. Lorsque le coefficient d'amortissement est inférieur à $\frac{1}{\sqrt{2}}$, la réponse du système présente des *dépassements*, c'est à dire que la réponse prend des valeurs supérieures à la valeur en régime permanent.



(a) $0 < m < 1$



(b) $m > 1$

Figure 1.5: Réponse d'un système à 2nd ordre

1.3 Asservissement des systèmes

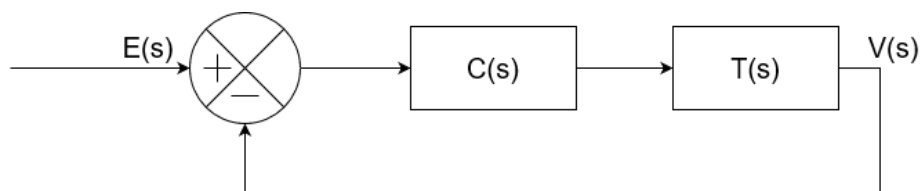


Figure 1.6: Modélisation par schéma-blocks

Dans cette partie on s'intéressera à calculer des correcteurs pour les systèmes qui permettent de les asservir. On utilisera le logiciel MatLab afin de simuler la réponse des systèmes pour pouvoir comparer dans le chapitre prochain aux systèmes réalisés. Les systèmes asservis peuvent être modélisés par des schéma-blocks comme représenté sur la figure 1.6, où $E(s)$ est le signal d'entrée représenté en domaine de Laplace, $C(s)$ est la fonction qui représente le correcteur utilisé et $T(s)$ est la fonction de transfert de notre système. On peut également représenter sur le schéma, $V(s)$ qui est la sortie du système en domaine de Laplace.

1.3.1 Système 1

Le premiere système peut etre modelisé par un système de premier ordre:

$$T(s) = F_1(s) = \frac{A}{1 + \tau s}$$

ou $A = 1,8$ et $\tau = 21,667\text{ms}$ d'apres les mesure effectués dans la premiere partie.

Correction avec correcteur proportionnel

Pour un correcteur proportionnel on a $C(s) = K$, $K > 0$. Ainsi la fonction de transfert en boucle fermée est, d'apres le formule de Black:

$$FTBF = \frac{FTBO}{1 + FTBO} = F_{p1}(s)$$

$$F_{p1}(s) = \frac{\frac{KA}{1+\tau s}}{1 + \frac{KA}{1+\tau s}} = \frac{KA}{1 + \tau s + KA}$$

$$F_{p1}(s) = \frac{\frac{KA}{1+KA}}{1 + \frac{\tau}{1+KA}s} = \frac{K_{BF}}{1 + \tau_{BF}s}$$

avec $K_{BF} = \frac{KA}{1+KA}$ et $\tau_{BF} = \frac{\tau}{1+KA}$

Il est alors possible de déterminer *l'erreur statique* ε_s et le temps de réponse a 5% $t_{r5\%}$ en fonction de K . En effet:

$$\varepsilon_s = \lim_{t \rightarrow \infty} \varepsilon(t) = \lim_{s \rightarrow 0} s \cdot \varepsilon(s)$$

avec $\frac{\varepsilon(s)}{E(s)} = \frac{1}{1 + \frac{KA}{1+\tau s}}$ d'ou $\varepsilon(s) = \frac{E(s)}{1 + \frac{KA}{1+\tau s}}$ or ici, $E(s)$ est un échelon donc

$$\varepsilon_s = \lim_{s \rightarrow 0} s \cdot \frac{\frac{E_0}{s}}{1 + \frac{KA}{1+\tau s}} = \frac{E_0}{1 + KA} = \frac{E_0}{1 + K_{BO}}$$

avec $K_{BO} = KA$. On remarque qu'en augmentant K on arrive a diminuer l'erreur statique, mais on n'arrivera jamais a l'annuler.

Vu qu'il s'agit d'un système du premiere ordre, on peut exprimer $t_{r5\%1p}$ (temps de réponse a 5% du premiere systeme en boucle fermée avec correcteur proportionnel) avec

$$t_{r5\%1p} = 3\tau_{BF} = 3 \cdot \frac{\tau}{1 + K_{BO}}$$

ainsi on conclue que le temps de réponse a 5% diminue lorsque K augmente, le systeme devient plus *rapide* et plus *nerveux*.

En faisant l'application numérique avec $K = 1$ on obtient:

$$t_{r5\%1p} = 23,214\text{ms} \quad \varepsilon_s = 0,357 = 35,7\%$$

Chercher le K qui convient

Dans un premier temps, on va chercher la valeur de K tels que notre système admette une erreur statique de 10%

$$\varepsilon_{s10\%} = \frac{E_0}{1 + KA} \Rightarrow K = \frac{E_0}{A\varepsilon_{s10\%}} - \frac{1}{A} = 5$$

ensuite, on calcule le temps de réponse a 5%

$$t_{r5\%err10} = \frac{3\tau}{1 + KA} = 6,5ms.$$

Pour retrouver le K ou l'erreur statique devient 1% on fait le meme calcul:

$$\varepsilon_{s1\%} = \frac{E_0}{1 + KA} \Rightarrow K = \frac{E_0}{A\varepsilon_{s1\%}} - \frac{1}{A} = 55$$

ainsi donnant un temps de réponse $t_{r5\%err1}$

$$t_{r5\%err1} = 0,65ms$$

Dans un second temps, on cherche le K tels que le temps de réponse a 5% soit 5 fois plus petit par rapport a en boucle ouverte.

On a donc

$$t_{r5\%5x} = \frac{t_{r5\%}}{5} = \frac{3\tau}{1 + KA} \Rightarrow K = \frac{15\tau}{t_{r5\%}A} - \frac{1}{A} = 2,22$$

ou l'erreur statique est:

$$\varepsilon_{5x} = \frac{E_0}{1 + KA} = 0,20 = 20\%$$

Il est possible de faire les memes calculs pour obtenir un temps de réponse 50 fois plus rapide:

$$t_{r5\%50x} = \frac{t_{r5\%}}{50} \Rightarrow K = \frac{150\tau}{t_{r5\%}A} - \frac{1}{A} = 27,22$$

ou l'erreur statique est:

$$\varepsilon_{50x} = \frac{E_0}{1 + KA} = 0,020 = 2\%$$

Correction avec un correcteur intégral

Dans le cas d'un correcteur intégral, on a $C(s) = \frac{1}{T_i s}$ ou T_i représente le constant de temps de l'intégral. Comme dans la partie précédente, il est possible d'exprimer la fonction de transfert en boucle fermée par l'aide du formule de Black:

$$\begin{aligned} FTBF &= \frac{FTBO}{1 + FTBO} \\ F_{i1}(s) &= \frac{\frac{1}{T_i s} \frac{A}{1+\tau s}}{1 + \frac{1}{T_i s} \frac{A}{1+\tau s}} \\ F_{i1}(s) &= \frac{A}{T_i s(1 + \tau s) + A} = \frac{A}{A + T_i s + T_i \tau s^2} \\ F_{i1}(s) &= \frac{1}{1 + \frac{T_i}{A} s + \frac{T_i \tau}{A} s^2} \end{aligned}$$

On reconnait la forme d'une fonction de transfert du second ordre.

$$F_{i1}(s) = \frac{A}{1 + 2m\frac{s}{\omega_0} + \left(\frac{s}{\omega_0}\right)^2} \Rightarrow \omega_0 = \sqrt{\frac{A_1}{T_i\tau}}, m = \frac{T_i \omega_0}{2A_1} = \sqrt{\frac{T_i}{4A_1\tau}}$$

Il est possible de calculer l'erreur statique en utilisant la même formule que dans la partie correction proportionnel:

$$\lim_{s \rightarrow 0} s \cdot \varepsilon_{s2}(s)$$

avec

$$\varepsilon_{s2}(s) = \frac{1}{1 + \frac{1}{1 + \frac{T_i}{A_1}s + \frac{T_i\tau}{A_1}s^2}} = \frac{1 + \frac{T_i}{A_1}s + \frac{T_i\tau}{A_1}s^2}{1 + 1 + \frac{T_i}{A_1}s + \frac{T_i\tau}{A_1}s^2}$$

donnant

$$\lim_{s \rightarrow 0} s \cdot \frac{1}{2} = 0$$

L'erreur statique est ainsi égale à 0.

Sachant que

$$m = \sqrt{\frac{T_i}{4A_1\tau}}$$

on peut conclure que plus T_i augmente, plus le coefficient d'amortissement m augmente. Ainsi lorsque T_i est assez petit, m dépasse la valeur de $\frac{1}{\sqrt{2}}$ ou le système va commencer à présenter des dépassements, au même temps augmentant la rapidité du système. Plus T_i est petit plus le régime transitoire est longue, ainsi devenant pratiquement instable après un certain valeur. Le système ainsi devient moins nerveux pour les valeurs plus en plus grandes de T_i .

En utilisant les abaques on peut chercher T_i pour que la réponse indicielle présente un dépassement de 5%. En effet on cherche $m = 0,7$. Alors

$$0,7 = \sqrt{\frac{T_i}{4A_1\tau}} \Rightarrow T_i = 0,7^2 \cdot 4A_1\tau = 0,0764$$

Pour ce T_i le temps de réponse à 5% peut être retrouvé en utilisant les abaques:

$$t_{r5\%dep5\%} \cdot \omega_0 = 3 \Rightarrow t_{r5\%dep5\%} = \frac{3}{\omega_0} = 0,09s = 90ms$$

1.3.2 Système 2

Le second système peut être modélisé par une fonction de transfert du second ordre.

$$F_2(s) = \frac{A_2}{1 + 2m\frac{s}{\omega_0} + \left(\frac{s}{\omega_0}\right)^2}$$

avec $A_2 = 2$, $m = 0,5$ et $\omega_0 = 4,63$

En utilisant un correcteur proportionnel on obtient:

$$F_{p2}(s) = \frac{K_2 \frac{A_2}{1 + 2m\frac{s}{\omega_0} + \left(\frac{s}{\omega_0}\right)^2}}{1 + K_2 \frac{A_2}{1 + 2m\frac{s}{\omega_0} + \left(\frac{s}{\omega_0}\right)^2}} = \frac{K_2 A_2}{1 + K_2 A_2 + 2m\frac{s}{\omega_0} + \left(\frac{s}{\omega_0}\right)^2}$$

$$F_{p2}(s) = \frac{\frac{K_2 A_2}{1+K_2 A_2}}{1 + \frac{2m}{\omega_0(1+K_2 A_2)}s + \frac{1}{1+K_2 A_2} \left(\frac{s}{\omega_0}\right)^2} = \frac{K_{BF2}}{1 + \frac{2m'}{\omega'_0}s + \left(\frac{s}{\omega'_0}\right)^2}$$

avec $K_{BF2} = \frac{K_2 A_2}{1+K_2 A_2}$, $\omega'_0 = \omega_0 \sqrt{1+K_2 A_2}$ et $m' = \frac{m}{\sqrt{1+K_2 A_2}}$ on reconnait un système du second ordre. On peut également écrire, vue que $A = 2$,

$$K_{BF2} = \frac{2K_2}{1+2K_2}, \quad \omega'_0 = \omega_0 \sqrt{1+2K_2}, \quad m' = \frac{m}{\sqrt{1+2K_2}}$$

On remarque que l'effet d'augmenter K_2 est la diminution du coefficient d'amortissement m' qui implique l'augmentation de la nervosité du système.

On cherche à calculer K pour obtenir une erreur statique de 10%, avec

$$\varepsilon_{s2}(s) = \frac{E(s)}{1 + K F_2(s)} = \frac{\frac{1}{s} \left(1 + \frac{2m'}{\omega'_0}s + \left(\frac{s}{\omega'_0}\right)^2\right)}{1 + K A_2 + \frac{2m'}{\omega'_0}s + \left(\frac{s}{\omega'_0}\right)^2}$$

d'où

$$\lim_{s \rightarrow 0} = s \cdot \frac{\frac{1}{s} \left(1 + \frac{2m'}{\omega'_0}s + \left(\frac{s}{\omega'_0}\right)^2\right)}{1 + K A_2 + \frac{2m'}{\omega'_0}s + \left(\frac{s}{\omega'_0}\right)^2} = \frac{1}{1 + K A_2} = 0,1 \Rightarrow K_{10} = 4.5$$

Il est ainsi possible de déterminer l'amplitude du premier dépassement, en calculant le coefficient d'amortissement de la fonction de transfert du système en boucle fermée, et regardant les abaques. On retrouve $m'_1 = \frac{m}{\sqrt{1+K_{10}A_2}} = 0.158114$ qui nous laisse montrer depuis les abaques que le système présente un premier dépassement de 60%. On également calculer le temps de réponse à 5% une fois qu'on calcule $\omega'_{10} = \omega_0 \sqrt{1+K_{10}A_2} = 14.641$. Depuis les abaques, pour $m = 0.15$, $t_{r5\%}\omega_0 = 20$, d'où $t_{r5\%} = 1.366s$

De même façon on peut retrouver pour une erreur de 2%

$$\frac{1}{K_{2p}A} = 0.02 \Rightarrow K_{2p} = 24.5$$

pour lequel:

$$m'_2 = 0.0707$$

à partir duquel on déduit un premier dépassement de 80%. On cherche alors $\omega'_2 = \omega_0 \sqrt{1+K_{2p}A_2} = 32.739$, d'où $t_{r5\%} = \frac{40}{32.739} = 1.221s$

1.4 Simulation des asservissements

Dans cette partie nous allons simuler la réponse des systèmes en utilisant les valeurs obtenus dans la partie précédente, en utilisant le logiciel l'outil *Simulink* du logiciel *Matlab*, afin de pouvoir les comparer aux résultats de la section précédente.

1.4.1 Système d'ordre 1

Dans un premier temps on prends le système décrit par la fonction de transfert

$$F_1(s) = \frac{A}{\tau s + 1}$$

les valeurs sont $A = 1.8$ et $\tau = 0.021667$.

Correcteur proportionnel

Pour les correcteur proportionnel les valeurs obtenus sont

$$K_{sp1.1} = 5 \quad K_{sp1.2} = 55 \quad K_{sp2.1} = 2.22 \quad K_{sp2.2} = 27.22$$

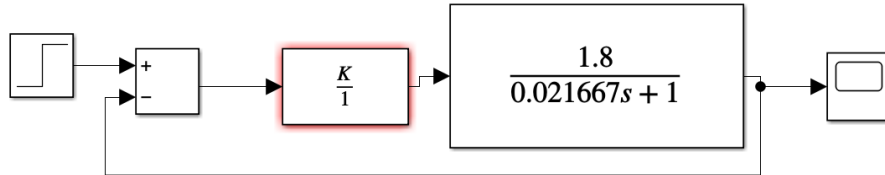
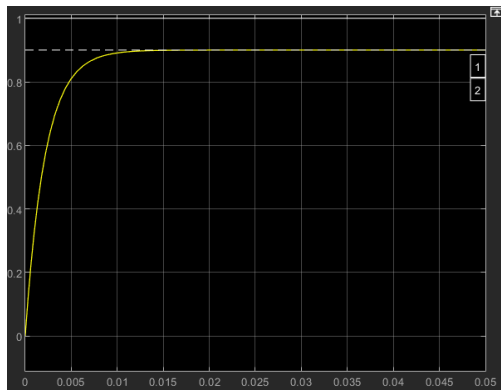
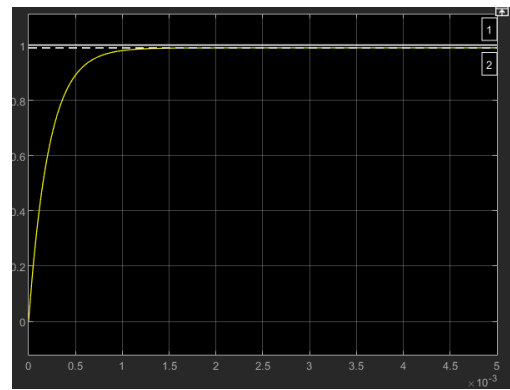


Figure 1.7: Modélisation par schéma-blocks dans Simulink

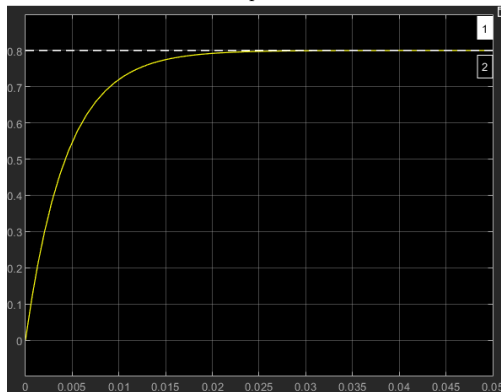
Dans le logiciel on réalise le schéma de la figure 1.7 en remplaçant K a chaque fois par les valeurs calculées.



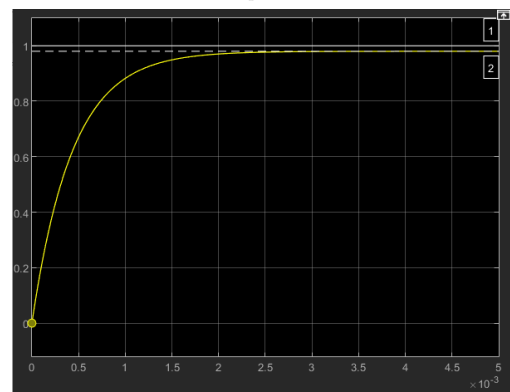
(a) $K_{sp1.1} = 5$



(b) $K_{sp1.2} = 55$



(c) $K_{sp2.1} = 2.22$

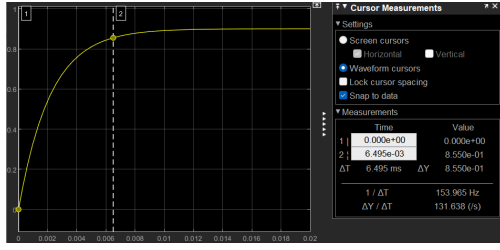


(d) $K_{sp2.2} = 27.22$

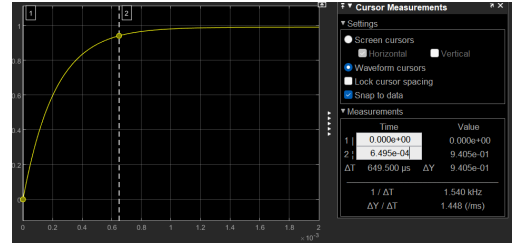
Figure 1.8: Réponses simulés pour les K différentes, mesure de l'erreur

Nos mesures des erreurs statiques sont exactement les que nous avons calculé.

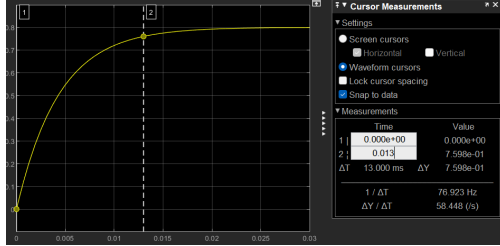
Les valeurs sont, si pas exactement les meme, tres proches des valeurs calculés. On peut alors conclure que les calculs de K sont justes pour vérifier les caractéristiques attendues. On peut également remarquer le fait que, lorsqu'on augmente K , la précision du systeme augmente, c'est a dire que l'erreur statique diminue, et la rapidité du systeme augmente, c'est a dire que la valeur en régime permanent est atteinte dans moins de temps que pour les valeurs plus faibles de K (voir les figures).



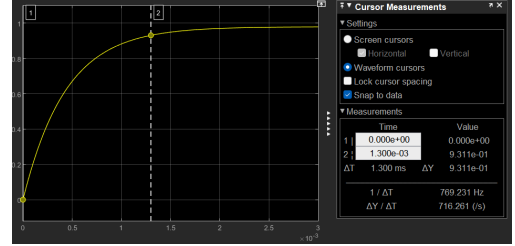
(a) $K_{sp1.1} = 5$



(b) $K_{sp1.2} = 55$



(c) $K_{sp2.1} = 2.22$



(d) $K_{sp2.2} = 27.22$

Figure 1.9: Réponses simulées, mesure du temps de réponse

Correcteur intégral

Pour cette section on va simuler le systeme avec un correcteur proportionnel. On modélisera dans Simulink comme dans la figure 1.10.

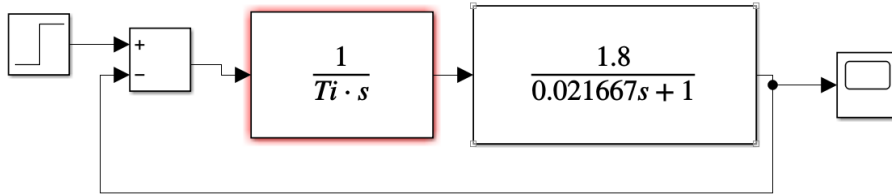
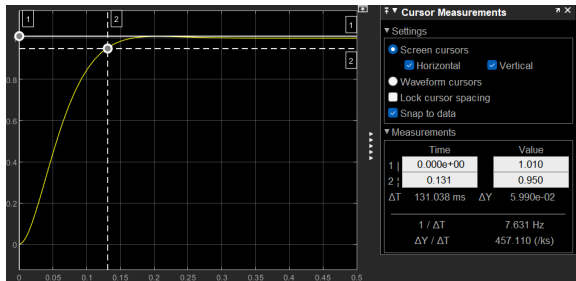


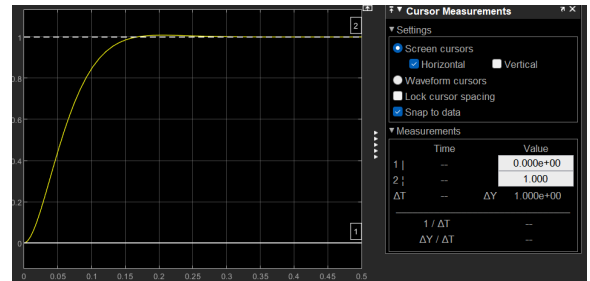
Figure 1.10: Modélisation par schéma-blocks dans Simulink

On prendra les valeurs

$$T_{i1} = \tau \quad T_{i2} = 5\tau \quad T_{i3} = 10\tau$$

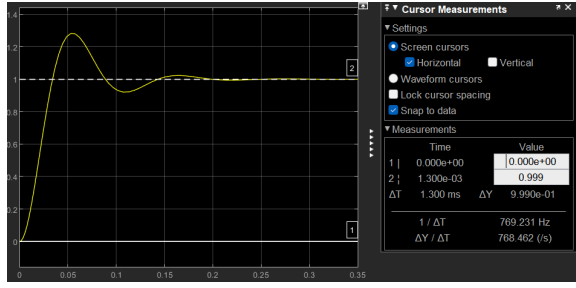


(a) Première dépassement, temps de réponse

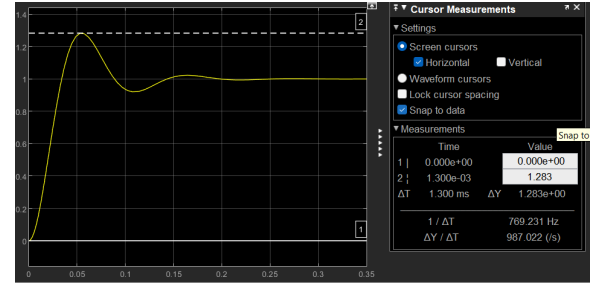


(b) Erreur statique

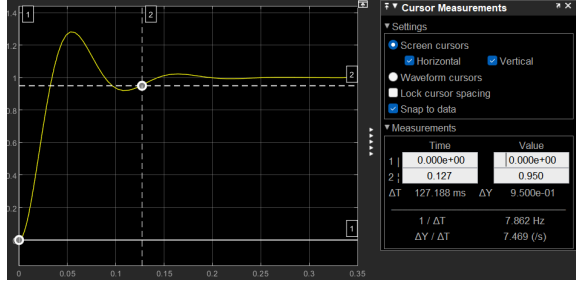
Figure 1.12: Réponses simulées, mesures des caractéristiques pour $T_i = 5\tau$



(a) Erreur statique

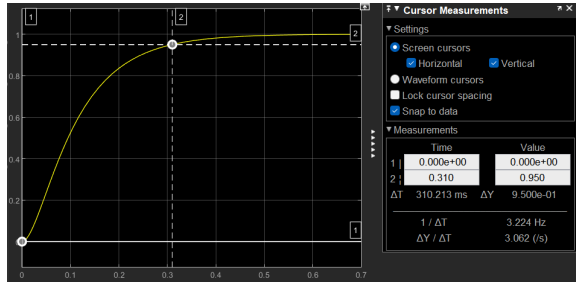


(b) Mesure de premiere dépassement

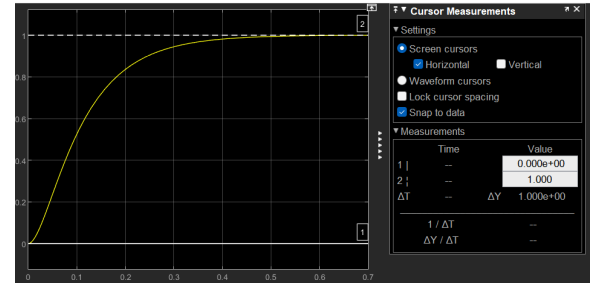


(c) Mesure du temps de réponse

Figure 1.11: Réponses simulés, mesures des caractéristiques pour $T_i = \tau$



(a) Temps de réponse



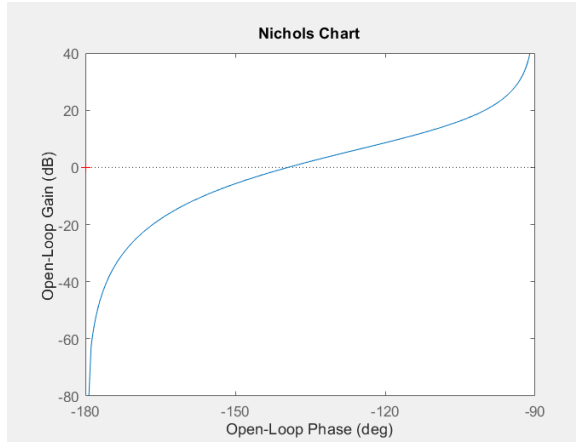
(b) Erreur statique

Figure 1.13: Réponses simulés, mesures des caractéristiques pour $T_i = 10\tau$

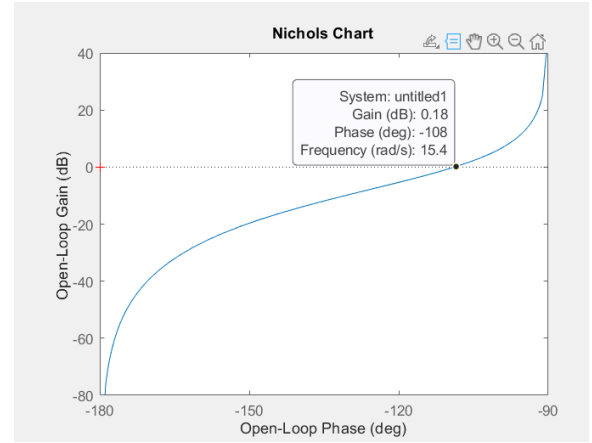
D'après les resultats obtenues (figures 1.11, 1.12 1.13), on remarque que que nos conclusion de la chapitre précédente sur le changement du dynamique du systeme sont cohérentes: plus la valeur de T_i est grande plus le systeme est lant (moins rapide), moins il présente des dépassements. On peut ce conclure grace aux temps de réponses mesurées: pour T_{i1} c'est $127.188ms$, pour T_{i2} c'est 131.038 (presque le meme) et pour T_{i3} c'est $310.213ms$. L'erreur est le meme pour tous les systemes , c'est 0. Pour ce mesurer, on cherche le nombre

$$1 - \frac{\text{valeur mesuré en régime permanent}}{\text{valeur attendu en régime permanent}}$$

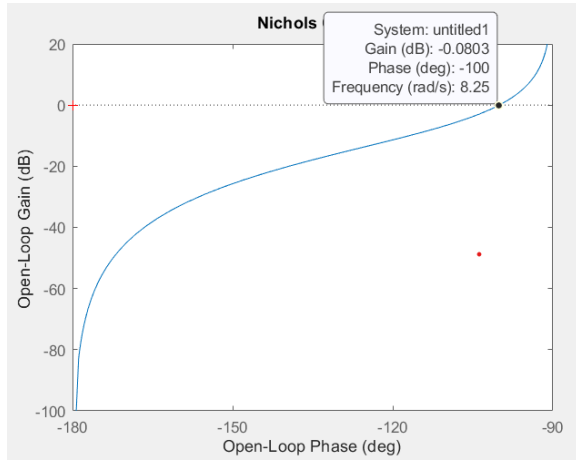
La valeur du premiere dépassement diminue, ainsi d'après tout les éléments présentés on peut conclure que le systeme devient moins nerveux en augmentant T_i .



(a) $T_{i1} = \tau$



(b) $T_{i2} = 5\tau$



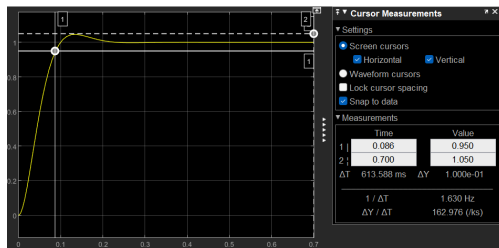
(c) $T_{i3} = 10\tau$

Figure 1.14: Diagrammes de black pour les τ différents

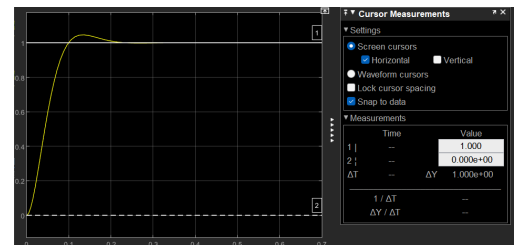
D'après les diagrammes de Black (figures 1.14), on peut calculer la *marge de phase*:

$$\Delta\Phi_1 = 180 - 139 = 41deg \quad \Delta\Phi_2 = 180 - 108 = 72deg \quad \Delta\Phi_3 = 180 - 100 = 80deg$$

On peut en conclure que plus τ augmente, plus T_i augmente, plus la marge de phase est grande, qui implique que la stabilité du système augmente si T_i augmente.



(a) Mesure première dépassement, temps de réponse



(b) Mesure erreur statique

Figure 1.15: Simulation avec $T_i = 0.0764$

Lorsqu'on applique le T_i trouvé dans la partie précédente pour avoir un première dépassement de 5% ($T_i = 0.0764$) on mesure un première dépassement de 5%, un temps de réponse de

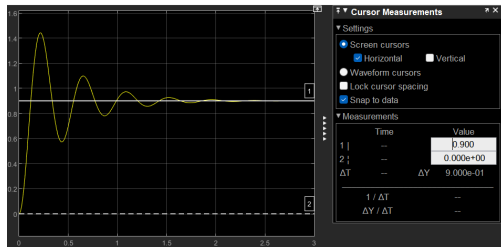
86ms et une erreur statique nulle (figure 1.15). Dans nos calculs de la section précédente, on a trouvé un temps de réponse de 90ms donc nos résultats sont cohérents.

On peut ainsi comparer les résultats des correcteurs proportionnel et intégral. D'une part, le correcteur proportionnel ne présente jamais des dépassements en corrigeant un système de première ordre, qui garanti que nos composants ne seront pas surchargés. Lorsqu'on augmente la valeur de K pour le correcteur proportionnel on augmente, et lorsqu'on augmente T_i du correcteur intégral, on diminue la nervosité du système. Le correcteur proportionnel présente une erreur statique tandis que l'intégral n'en a pas (pour les entrée type échelon).

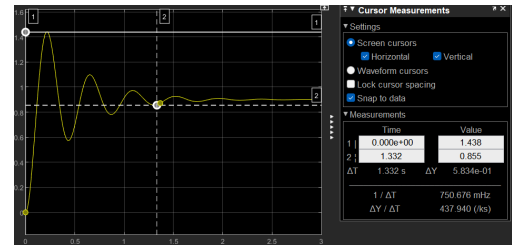
1.4.2 Systeme d'ordre 2

Correcteur proportionnel

Dans un premier temps, on va simuler le système 2, modélisé par une fonction de transfert d'ordre 2, avec un correcteur proportionnel. On prendra les valeurs de K trouvés précédemment: $K_{2,1} = 4.5$, $K_{2,2} = 24.5$.



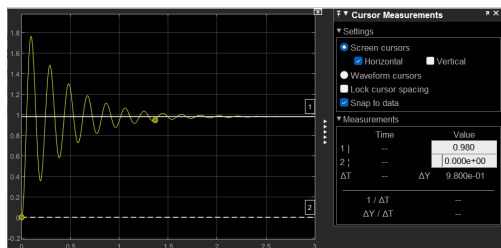
(a) Erreur statique



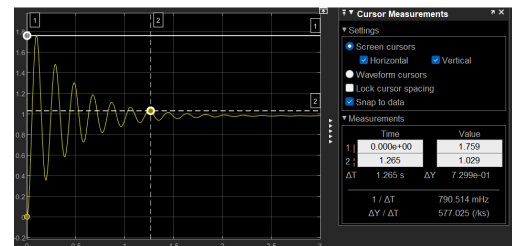
(b) Mesure première dépassement, temps de réponse

Figure 1.16: Simulation avec $K = 4.5$

Pour $K_{2,1} = 4.5$ on trouve une erreur statique de 10%, une première dépassement de 43.8% et un temps de réponse à 5% de 1.332s ce qui sont cohérents avec les résultats précédents (sauf le dépassement [on a trouvé 60% mais mesuré 43.8%]).



(a) Erreur statique



(b) Mesure première dépassement, temps de réponse

Figure 1.17: Simulation avec $K = 24.5$

Pour $K_{2,2} = 24.5$ on retrouve une erreur statique de 2%, et on mesure une première dépassement de 75.9% et un temps de réponse de 1.265s. Ici les résultats sont plus cohérents avec celles calculées.

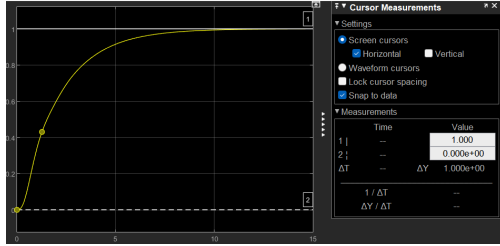
On peut conclure que plus K augmente, plus le système devient nerveux: les premières dépassements sont de plus en plus importantes, mais l'erreur statique diminue. Une première dépassement de presque 80% dans le cas de $K_{2,2}$ peut être considéré comme trop grand dans

certaines applications, ainsi, augmenter la valeur de K afin de diminuer l'erreur statique n'est peut être pas la meilleur solution.

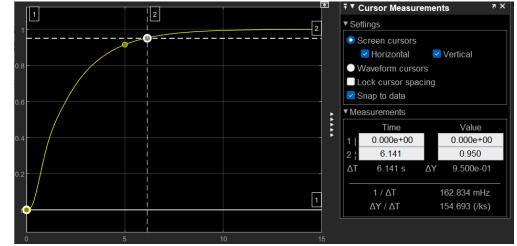
Correcteur intégral

On peut dans un second temps regarder l'influence d'un correcteur intégrale sur la correction du système. On prendra les valeurs définis dans le TP:

$$T_{i1} = 4.319654 \quad T_{i2} = 2.159827 \quad T_{i3} = 1.079913 \quad T_{i4} = 0.215982$$



(a) Erreur statique

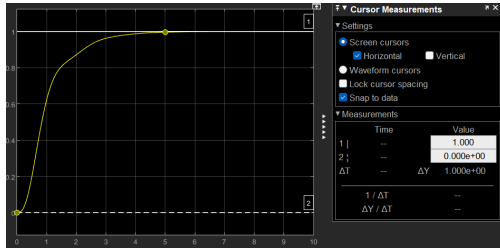


(b) Temps de réponse

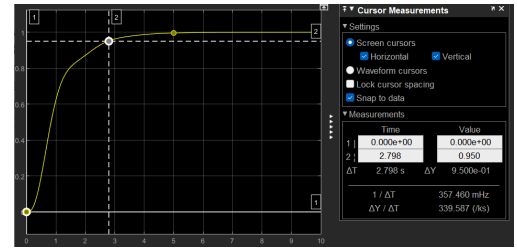
Figure 1.18: Simulation avec $T_i = 4.3195654$

$$t_{r5\%T_{i1}} = 6.141s$$

Pour le premiere $T_i = 4.3195654$ on retrouve une erreur statique nulle, un temps de réponse de 6.141s et il n'y a pas de dépassement.



(a) Erreur statique

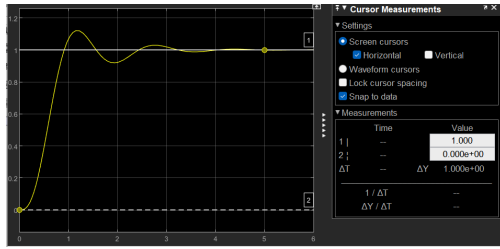


(b) Temps de réponse

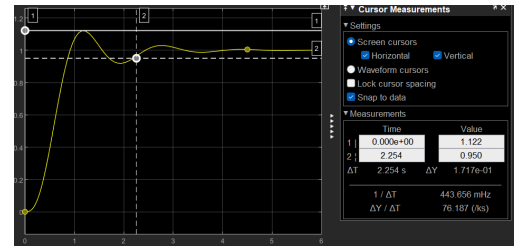
Figure 1.19: Simulation avec $T_i = 2.159827$

$$t_{r5\%T_{i2}} = 2.798s$$

Pour $T_i = 2.159827$ on retrouve une erreur statique nulle, un temps de réponse de 2.798s et il n'y a pas de dépassement. La rapidité du système a augmenté en diminuant la valeur de T_i



(a) Erreur statique

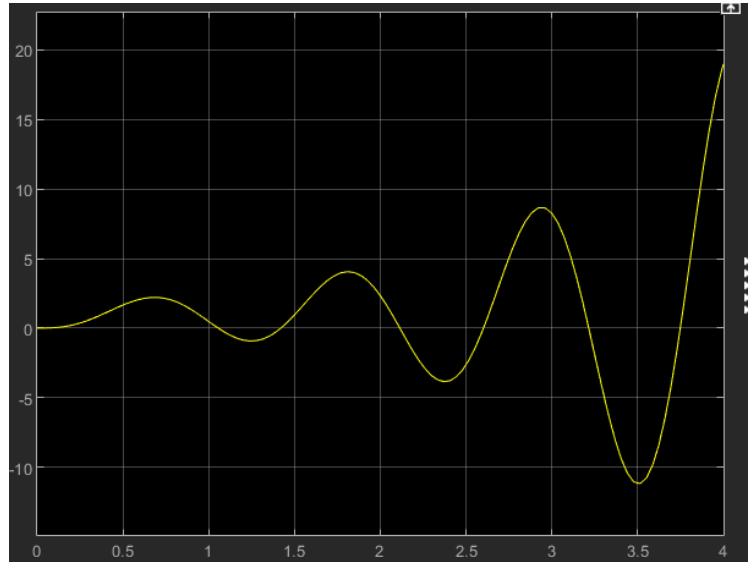


(b) Temps de réponse, première dépassement

Figure 1.20: Simulation avec $T_i = 1.07991$

$$t_{r5\%T_{i3}} = 2.254s$$

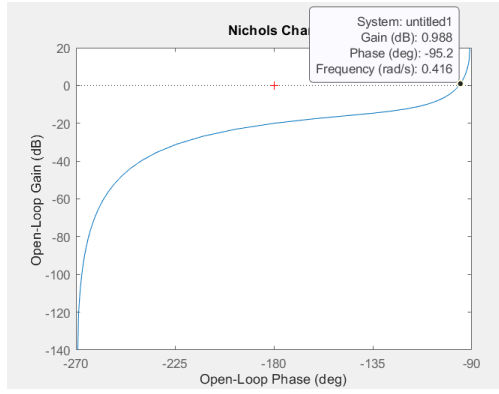
Pour $T_i = 1.07991$ on retrouve une erreur statique nulle, un temps de réponse de 2.254s et une première dépassement de 12.2%. On remarque que c'est la nervosité du système qui augmente en diminuant T_i , puisqu'avant il n'y avait pas de dépassement.



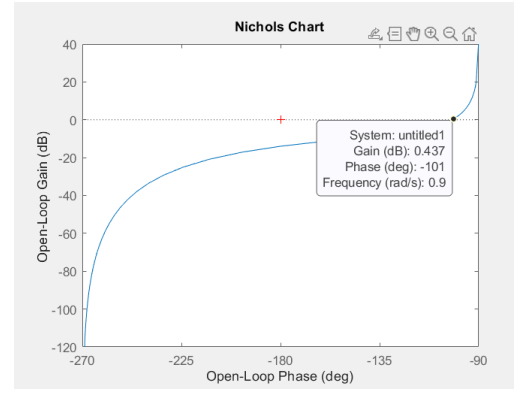
(a) Systeme instable

Figure 1.21: Simulation avec $T_i = 0.215982$

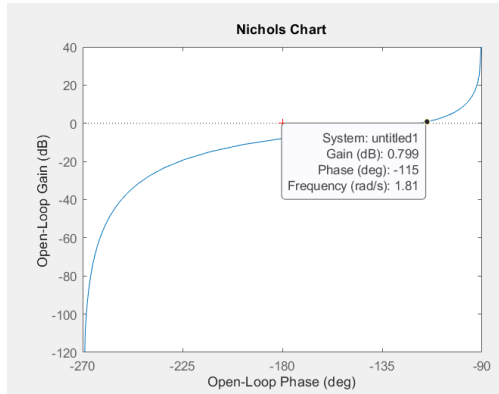
Pour $T_i = 0.215982$ on trouve que le système devient instable. En effet le système n'a pas l'aire de converger vers une valeur spécifique, le régime transitoire n'a pas l'aire de se finir.



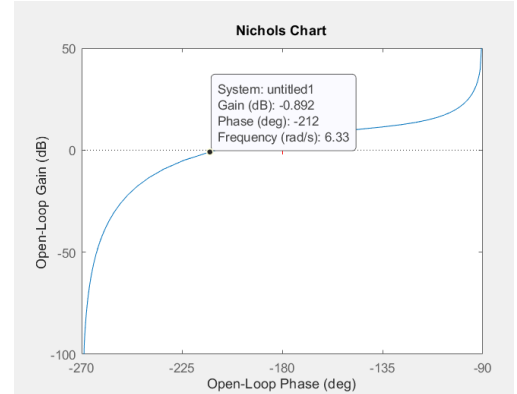
(a) $T_i = 4.3195654$



(b) $T_i = 2.159827$



(c) $T_i = 1.07991$



(d) $T_i = 0.215982$

Figure 1.22: Diagrammes de Black

On remarque sur les diagrammes de Black, que plus T_i est grand, plus le système est stable puisque la marge de phase augmente, mais pour $T_i = 0.215982$ la marge de phase devient négatif, ainsi le système n'est pas stable.