



UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

Faculté de génie

Département de génie électrique et génie informatique

CONCEPTION D'ASSERVISSEMENTS ANALOGIQUES

APP 5

Présenté à :

Jean-Baptiste Michaud

Présenté par :

Hubert Dubé - dubh3401

Gabriel Lavoie - lavg2007

Sherbrooke

15 novembre 2019

Table des matières

1	Introduction	1
2	Procédure de conception systématique	1
3	Design du télescope A	1
3.1	Azimut	1
3.1.1	Design initial	1
3.1.2	Design final	3
3.1.3	Conformité	6
3.1.4	Validation de la trajectoire de référence	6
3.2	Élévation	7
3.2.1	Design initial	7
3.2.2	Desing final	8
3.2.3	Conformité	10
3.2.4	Validation de la trajectoire de référence	10
4	Design du télescope B	11
4.1	Azimut	11
4.1.1	Design initial	11
4.1.2	Iterations	11
4.1.3	Conformité	11
4.1.4	Validation de la trajectoire de référence	11
4.2	Élévation	11
4.2.1	Design initial	11
4.2.2	Iterations	11
4.2.3	Conformité	11
4.2.4	Validation de la trajectoire de référence	11
5	Conclusion	11

Table des figures

1	Observation initial	1
	a Réponse à l'échelon de l'azimut original	1
	b Marges de l'azimut original	1
2	Lieu de bode de l'azimut corrigé avec un AvPh	2
3	Comparaison des réponses à l'échelon	4
4	Marges à la suite de tous les compensateurs et le filtre	4
5	Comparaison des réponses à l'échelon finale en azimut	5
6	Marges à la suite du correctif de $\Delta\phi$	6
7	Validation de la trajectoire de référence	7
	a Réponse à l'échelon de l'élévation sans correction	7
	b Marges de l'élévation sans correction	7
8	Observation initial	7
9	Lieu de bode de l'élévation corrigé avec un AvPh	8
10	Comparaison des réponses à l'échelon finale en élévation	9
11	Marges finales	10
12	Validation de la trajectoire de référence	11

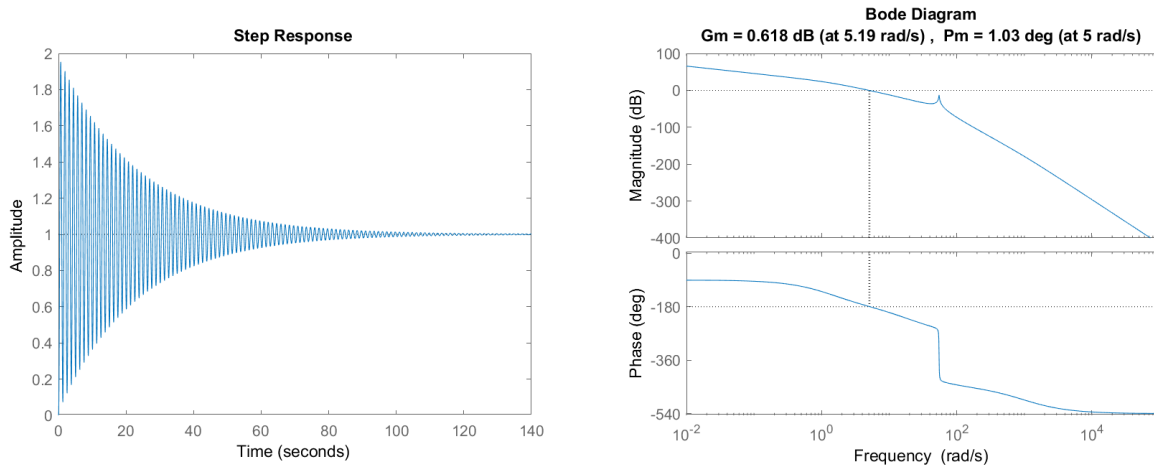
1 Introduction

2 Procédure de conception systématique

3 Design du télescope A

3.1 Azimut

Avant de commencer le desing de compensateur, posons un regard sur le la réponse à l'échelon et sur le lieu de bode de la fonction de transfert qui sera à l'étude dans la prochaine partie.



(a) Réponse à l'échelon de l'azimut original

(b) Marges de l'azimut original

FIGURE 1 – Observation initial

3.1.1 Design initial

Le début de la conception est de déterminer la position des pôles désirés. Ceux-ci représentent les emplacements par lesquels le lieu des racines devra passer afin de satisfaire les demandes de design du client. Cette partie est faite dans le document *trad_specs.m*. Les caractéristiques d'équations de système d'ordre 2 standards y sont déterminées, soit ζ et ω_n . À partir du critère de dépassement maximal, ζ est calculé à 0.4037. Il y a par contre plusieurs valeurs de ω_n possibles, ce qui demande de vérifier lequel sera le plus approprié au contexte présent. Dans notre cas, le ω_n de 11.1484 est celui à choisir, car il est le plus grand, ce qui permettra l'atteinte de tous les autres critères de design (prendre le ω_n le plus grand assure de respecter tous les temps de montée). Ainsi, les pôles désirés sont :

$$s^* = -4.5008 \pm 10.1995i$$

Ensuite, il est possible de déterminer le type de compensation désiré. En affichant la réponse à un échelon, il est clair que la réponse transitoire du système doit être améliorée. Pour ce faire, un compensateur par avance de phase doit être utilisé afin de réduire la réponse en haute fréquence qui correspond à la section transitoire.

La technique de la bissectrice sera utilisée de la manière suivante : Avancer la phase implique de stabiliser le système et donc de le tirer vers la droite sur le lieu des racines. Le calcul de $\Delta\phi$ permet de déterminer quel changement doit être appliqué à la phase pour la réduire à celle d'un système à phase minimale.

$$\Delta\phi = -180 - \langle G(s)|_{s=s^*} \rangle$$

$$\Delta\phi = 73.0918^\circ$$

Comme la phase à compenser est positive, il est évident qu'une compensation par avance de phase est à faire. Les valeurs du zéro et du pôle est ensuite déterminé à partir de ce changement à appliquer. Le gain à compenser est calculé en fonction du positionnement du zéro et du pôle sur l'axe réel et du gain de la fonction à compenser.

$$AvPh = k_a \frac{s - z}{s - p}$$

$$k_a = \frac{1}{AvPh|_{s=s^*} \cdot |G(s^*)|}$$

$$AvPh_1 = 11.5353 \cdot \frac{s + 3.8857}{s - 31.9861}$$

Le résultat de l'avance de phase avec $AvPh_1$ est affiché à la figure 2 pour les marges et la réponse à un échelon unitaire à la figure 3.

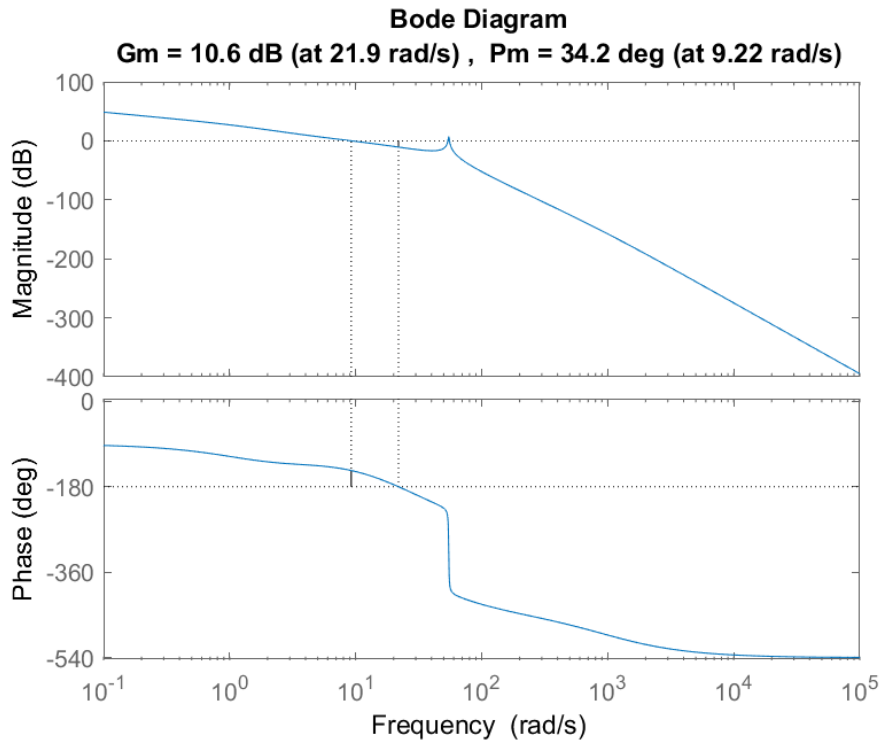


FIGURE 2 – Lieu de bode de l'azimut corrigé avec un AvPh

3.1.2 Design final

L'ajout de ce dernier compensateur améliore le régime transitoire, mais ne permet pas de répondre aux spécifications de sécurité. Un autre compensateur d'avancement de phase est donc nécessaire pour respecter la marge de retard acceptable. Une approche par la méthode de Bode doit être utilisée, car les spécifications sont dans le domaine fréquentiel. La marge de phase désirée est calculée à la fréquence de traversée en gain afin de déterminer par combien la phase du système doit être augmentée. Le gain permettant la traversée en fréquence doit rester le même parce que les caractéristiques ζ et ω_n doivent être conservés. Le K^* est donc de 1. La marge de phase nécessaire est

$$TM = \frac{PM^*}{\omega_n} \cdot \frac{\pi}{180}$$

$$PM^* = 52.8378^\circ$$

On obtient donc la phase à compenser

$$\Delta\phi = PM^* - PM$$

$$\Delta\phi = 20.6660^\circ$$

Où PM est la marge de phase du système à corriger (système corrigé seulement par le premier AvPh). En utilisant les formules de la page 28 du chapitre 7 des notes de Jean de LaFontaine, le compensateur suivant est obtenu

$$AvPh = k_a \frac{s - z}{s - p}$$

$$k_a = \frac{K^*}{\left| \frac{s - z}{s - p} \right|}$$

$$AvPh_2 = 1.3933 \cdot \frac{s + 6.6186}{s + 12.8493}$$

Où k_a est le gain à appliquer au filtre pour enlever l'impacte qu'il aurait sur la fréquence de traversée en fréquence.

Comme il est possible de le voir sur la figure 3, il reste une bonne quantité de raie dans le système en azimut après l'ajout de $AvPh_2$. Pour réduire, voir éliminer, ce phénomène, un filtre coupe bande est utilisé directement dans la boucle ouverte. La fréquence de coupure de celui-ci est déterminée par la fréquence du pic dans le lieu de Bode () et une largeur de 12 rad par seconde est utilisée afin de minimiser l'impacte général du coupe bande sur le reste du système. Le coupe bande obtenu est donc :

$$H(s) = \frac{s^2 - 54.8^2}{s^2 + 12s + 54.8^2}$$

Et l'application de celui-ci résulte à la réponse à l'échelon de la figure 3.

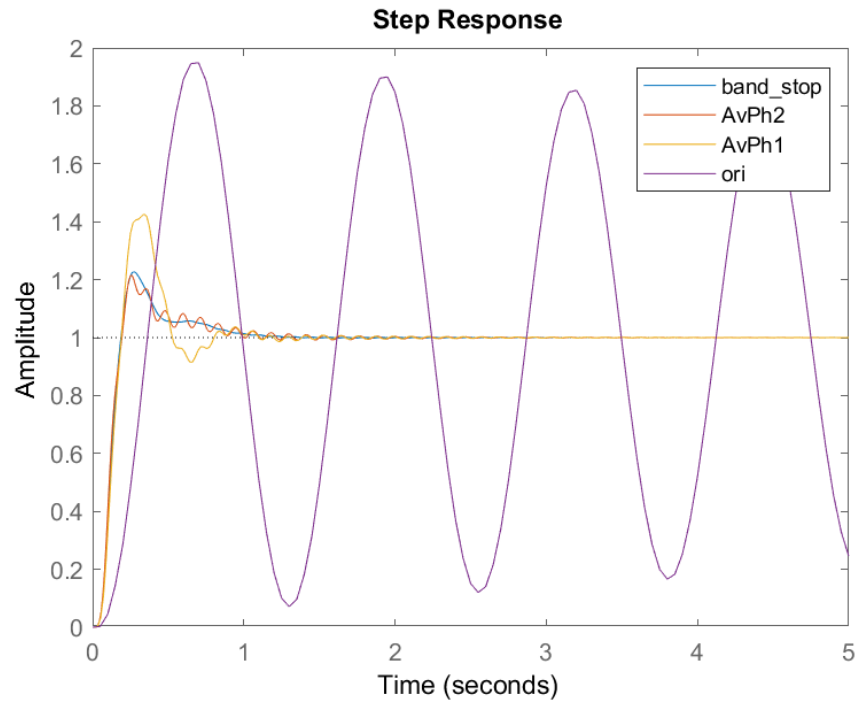


FIGURE 3 – Comparaison des réponses à l'échelon

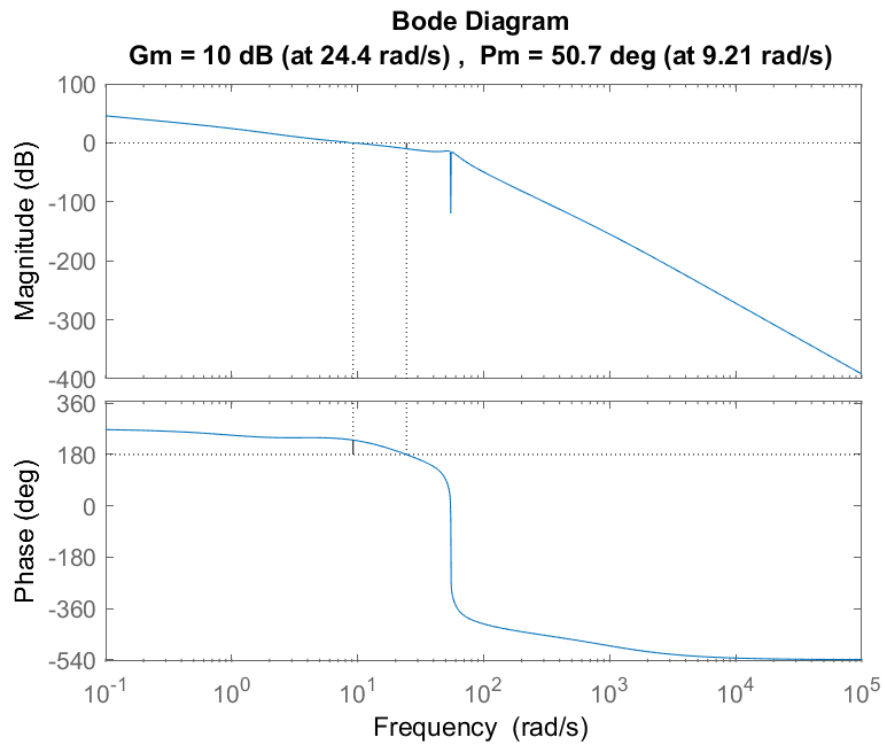


FIGURE 4 – Marges à la suite de tous les compensateurs et le filtre

La figure 5 montre bien l'effet de l'ajout des compensateurs d'avance de phase et du coupe bande, mais

les calculs de temps de montée, de dépassement maximal et de stabilisation montrent les défauts restants après toutes les corrections ajoutées précédemment. En effet, la marge de retard n'est pas plus grande que 0.1, comme la marge de phase de la figure 4 le fait remarquer. Pour rectifier cette situation, il a suffi d'ajouter une petite surcompensation, trouvée par itération, initialement au $\Delta\phi$ du premier compensateur afin de prévenir le retard de phase créé par l'ajout du coupe bande. Une fois cette dernière modification faite, les résultats finaux sont obtenus et seront évalués dans la section 3.1.4. Comme il y a beaucoup d'ajout de compensateur et de filtre entre les spécifications initiales et le résultat final, il est normal d'avoir à faire un ajustement itératif à la fin du processus de design. L'ajout de plusieurs filtres en cascade vient modifier légèrement les résultats obtenus précédemment et les calculs pour prédire chacun des changements prendrait beaucoup plus de temps que de seulement itérer sur quelques valeurs précises. Une fois les itérations faites, voici la fonction de transfert du deuxième compensateur d'avance de phase.

$$AvPh_2 = 1.4459 \cdot \frac{s + 6.3777}{s + 13.3346}$$

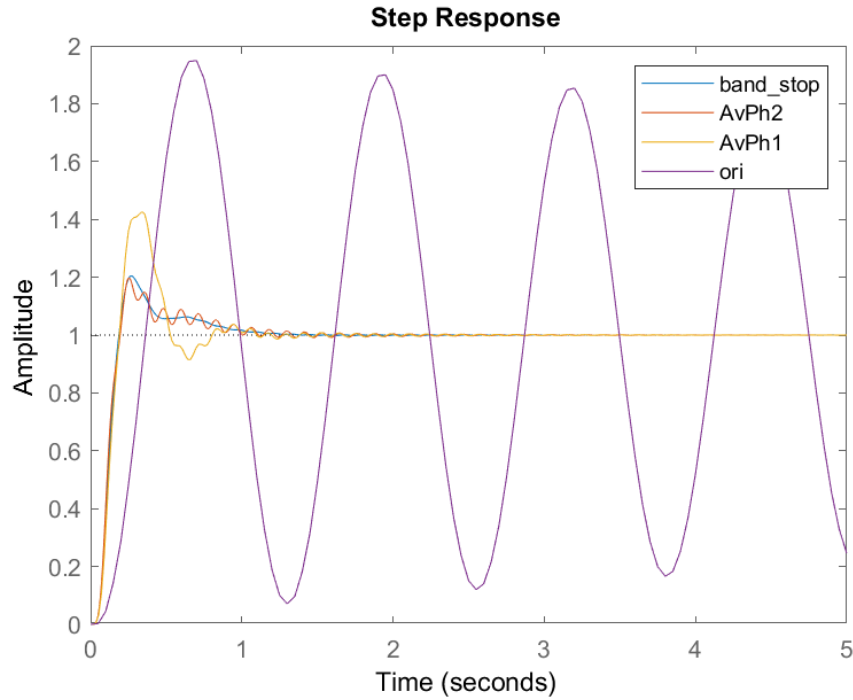


FIGURE 5 – Comparaison des réponses à l'échelon finale en azimut

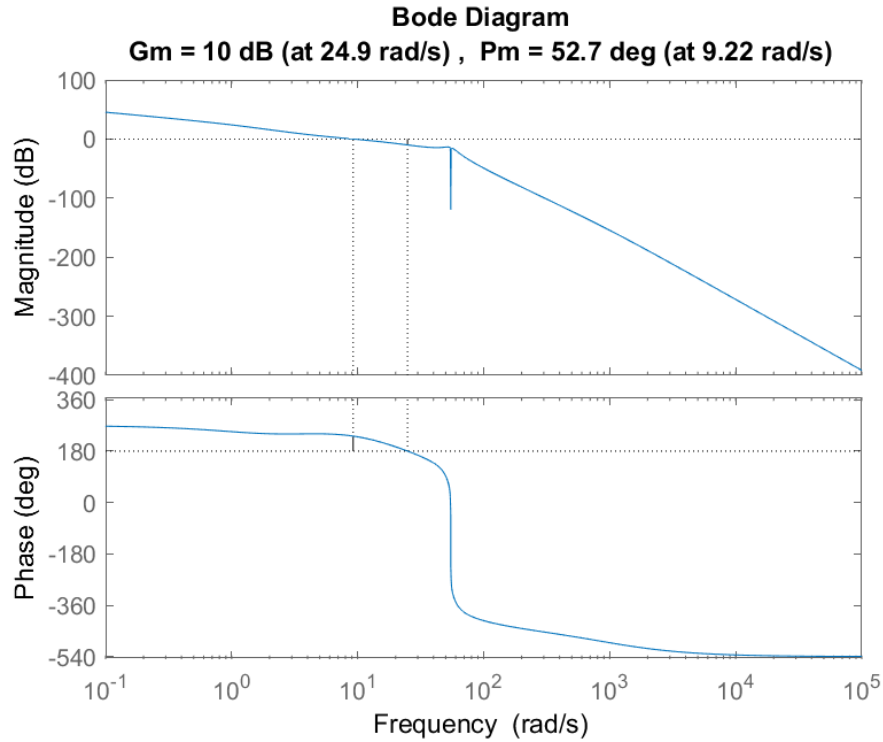


FIGURE 6 – Marges à la suite du correctif de $\Delta\phi$

3.1.3 Conformité

3.1.4 Validation de la trajectoire de référence

En conclusion de la figure (), le système répond très bien aux consignes demandées par la trajectoire. Certains petits pic ou renflement sont visible, mais les valeurs de ceux-ci sont cohérente avec les valeurs d'erreur en régime permanent et en fonction des disparités dans les régimes transitoires. Comme l'allure générales de la trajectoire obtenue est bonne, il est acceptable de regarder la valeur du coefficient de corrélation. Celui-ci est de 0.9998, ce qui indique que la réponse représente très bien la consigne.

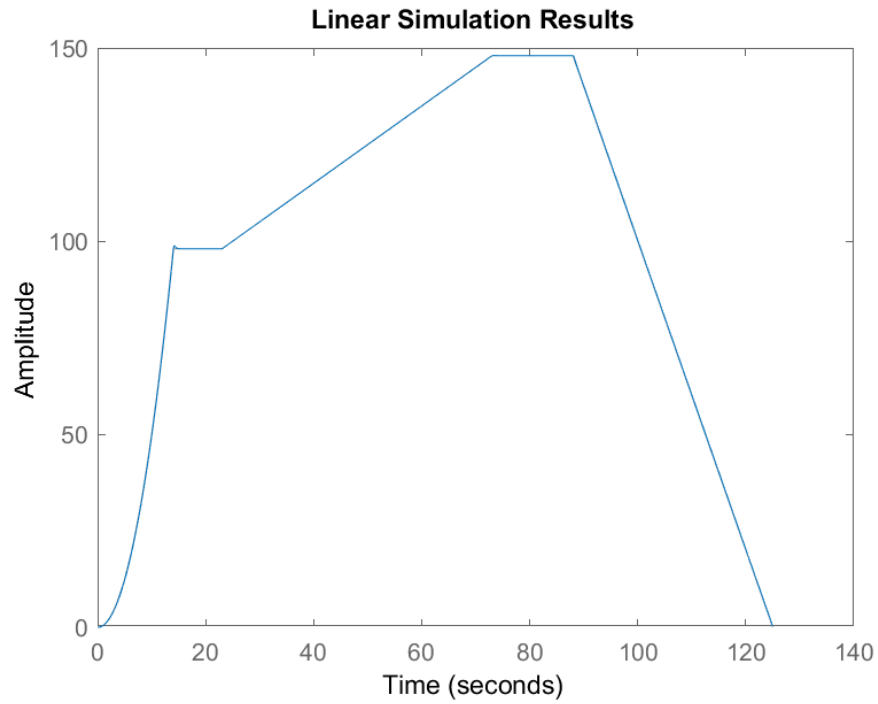
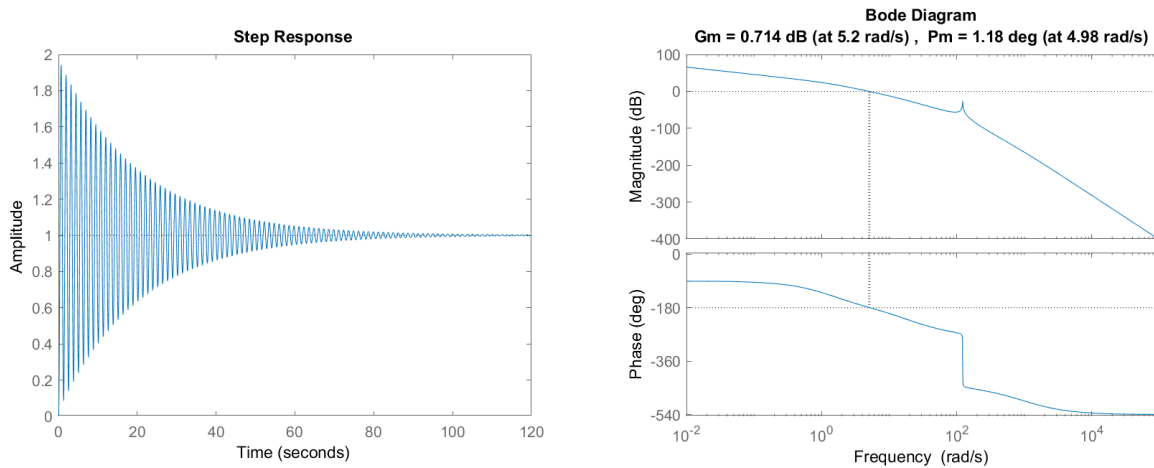


FIGURE 7 – Validation de la trajectoire de référence

3.2 Élévation

Avant de commencer le desing de compensateur, posons un regard sur le la réponse à l'échellon et sur le lieu de bode de la fonction de transfert qui sera à l'étude dans la prochaine partie.



(a) Réponse à l'échellon de l'élévation sans correction

(b) Marges de l'élévation sans correction

FIGURE 8 – Observation initial

3.2.1 Design initial

La réponse à l'échelon du système en élévation répond sensiblement de la même façon que lui en azimut, comme le montre la figure 8. Encore une fois, le régime transitoire est à corriger étant donné la très longue oscillation. Pour ce faire, un compensateur en avance de phase sera utilisé, de manière à tirer le lieu des racines vers la gauche, et donc de stabiliser la fonction de transfert. La technique de la bissectrice est encore une fois utilisé et les pôles désirés sont les mêmes que pour le système en azimut, car les mêmes spécifications de design sont utilisés. En appliquant le même calcul que pour le $\Delta\phi$ en azimut, les résultats suivants sont obtenus et les changements sur la réponse à l'échelon et sur le lieu de bode sont observable sur les figure 10 et 9 respectivement.

$$\Delta\phi = 74.4336^\circ$$

et la fonction de transfert résultante est :

$$AvPh_{EL} = 12.1850 \cdot \frac{s + 3.7657}{s + 33.0051}$$

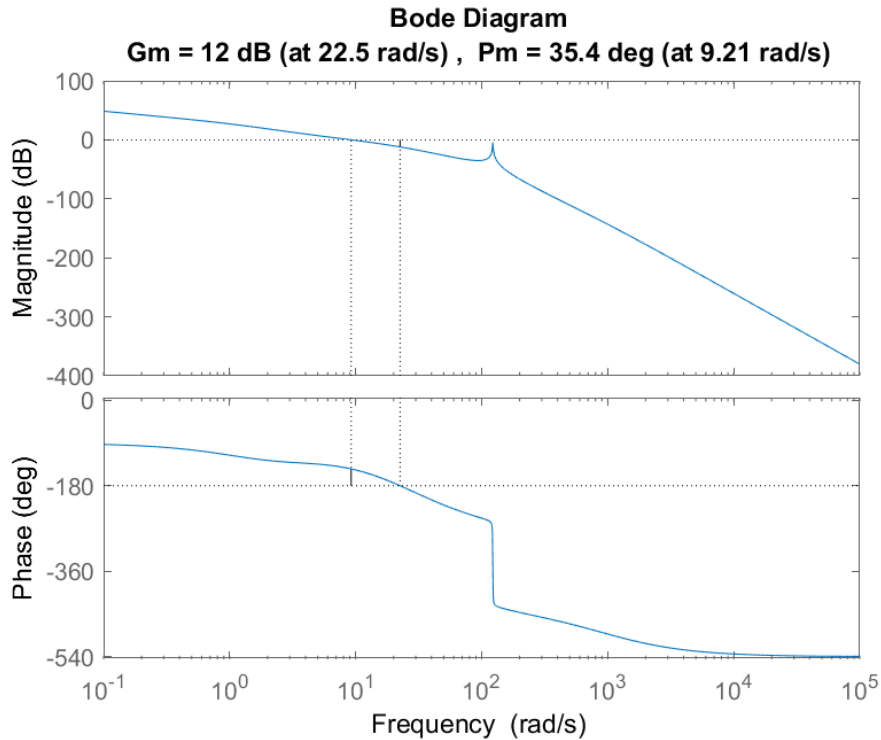


FIGURE 9 – Lieu de bode de l'élévation corrigé avec un AvPh

Bien que le régime transitoire soit très bien, il est impossible pour l'instant de satisfaire les normes d'erreur à une parabole unitaire, car le système présent n'est qu'un classe 1 et donc avec un erreur infini. Pour régler ce problème, un autre compensateur devra être utilisé.

3.2.2 Desing final

Afin de respecter l'erreur à la parabole, une augmentation de la classe est nécessaire. Ceci peut être fait avec un PI, car le pôle de ce compensateur sera situé sur l'intersection entre l'axe réel et imaginaire. L'utilisation de la règle du pouce place le zéro un peu trop à droite sur l'axe réel, il a donc été déplacé par des tests jusqu'à obtenir un point satisfaisant les critères d'acceptation. Le compensateur PI est :

$$PI_{EL} = 1 \cdot \frac{s + 0.4501}{s}$$

Le gain de ce filtre n'est pas modifié, afin d'éviter l'amplification des hautes fréquences.

De plus, un filtre coupe-bande est aussi nécessaire dans ce cas afin de réduire la réponse aux vibrations. La fréquence de coupure de ce filtre est déterminée, comme en azimuth, sur le lieu de Bode. La fréquence du pic (voir la figure ()) nécessite d'avoir un gain de moins de -15db pour satisfaire les demandes du client. Un filtre chebychev est créé à l'aide de MatLab pour simplifier l'utilisation. Par contre, comme le coupe-bande réduit un peu la phase, il est nécessaire d'ajouter une légère augmentation à la marge $\Delta\phi$ pour la création du AvPh, pour compenser le retard. Après les ajustements de l'ajout des deux derniers filtres, la réponse finale est obtenue à la figure ()

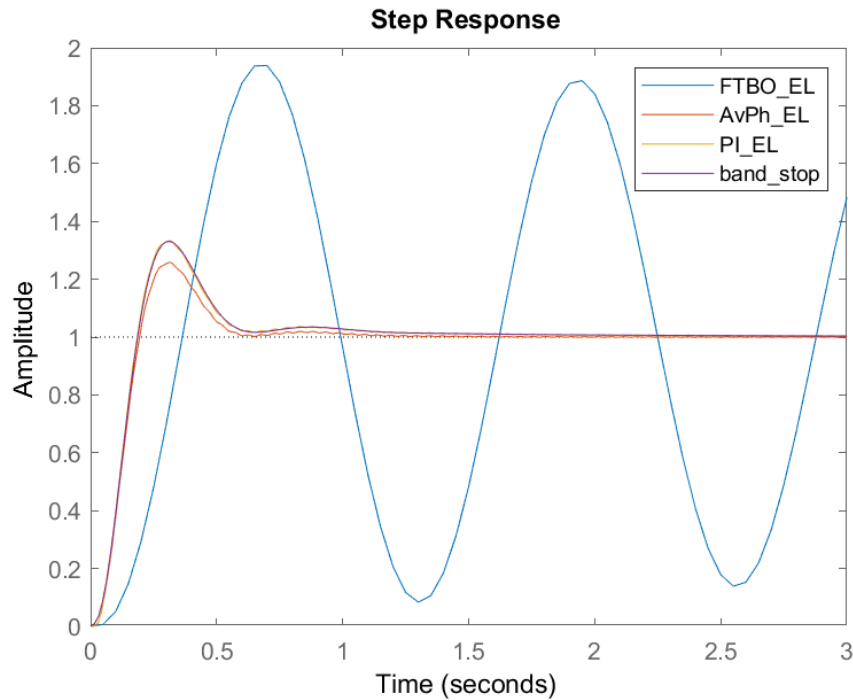


FIGURE 10 – Comparaison des réponses à l'échelon finale en élévation

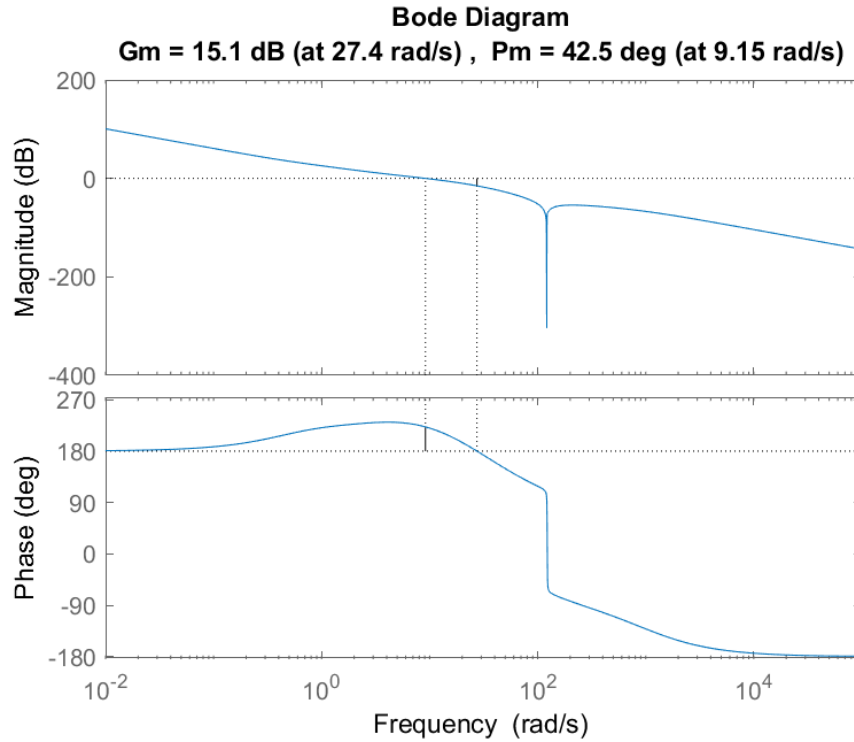


FIGURE 11 – Marges finales

3.2.3 Conformité

3.2.4 Validation de la trajectoire de référence

Comme pour l'azimut, la trajectoire est très semblable à la consigne mise à part quelque *overshoot* et renflement qui pouvaient être attendu, car le système final comporte des erreurs en régime permanent et en régime transitoire. Les résultats obtenus sont tout de même acceptable vue que l'allure générale de la courbe n'est que peu différente de la consigne. Le coefficient de corrélation confirme aussi ce analyse visuel, il est de 0.9994, soit très près de la perfection.

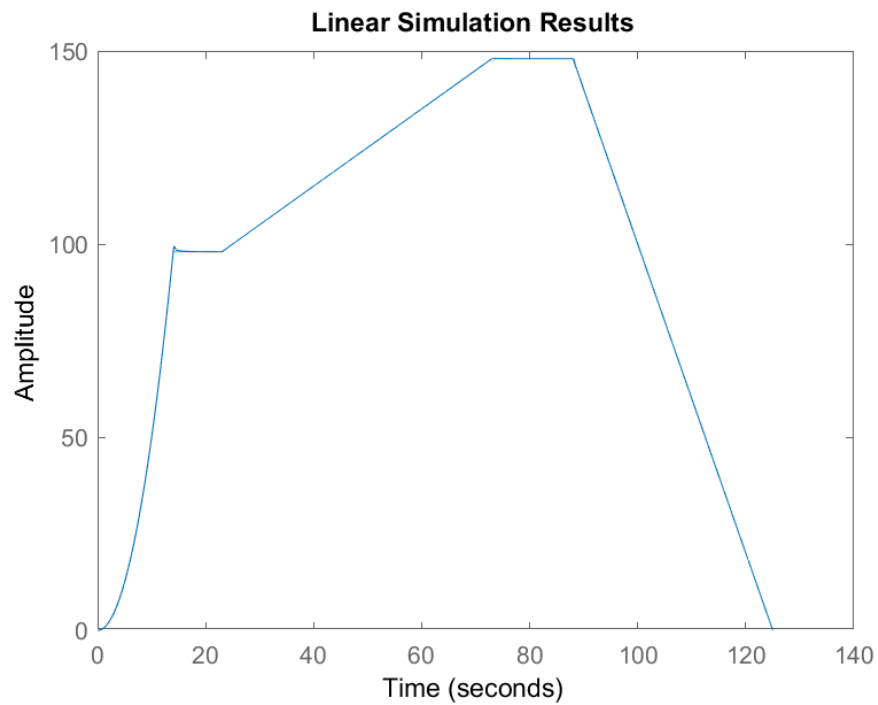


FIGURE 12 – Validation de la trajectoire de référence

4 Design du télescope B

4.1 Azimut

4.1.1 Design initial

4.1.2 Iterations

4.1.3 Conformité

4.1.4 Validation de la trajectoire de référence

4.2 Élévation

4.2.1 Design initial

4.2.2 Iterations

4.2.3 Conformité

4.2.4 Validation de la trajectoire de référence

5 Conclusion