



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

|          |   |          |
|----------|---|----------|
| <b>1</b> | <b>Introduction</b>                                 | <b>1</b> |
| <b>2</b> | <b>Procédure de conception systématique</b>         | <b>1</b> |
| <b>3</b> | <b>Design du télescope A</b>                        | <b>1</b> |
| 3.1      | Azimut . . . . .                                    | 1        |
| 3.1.1    | Design initial . . . . .                            | 1        |
| 3.1.2    | Iterations . . . . .                                | 3        |
| 3.1.3    | Graphiques . . . . .                                | 4        |
| 3.1.4    | Conformité . . . . .                                | 4        |
| 3.1.5    | Validation de la trajectoire de référence . . . . . | 4        |
| 3.2      | Élévation . . . . .                                 | 4        |
| 3.2.1    | Design initial . . . . .                            | 4        |
| 3.2.2    | Iterations . . . . .                                | 4        |
| 3.2.3    | Graphiques . . . . .                                | 4        |
| 3.2.4    | Conformité . . . . .                                | 4        |
| 3.2.5    | Validation de la trajectoire de référence . . . . . | 4        |
| <b>4</b> | <b>Design du télescope B</b>                        | <b>4</b> |
| 4.1      | Azimut . . . . .                                    | 4        |
| 4.1.1    | Design initial . . . . .                            | 4        |
| 4.1.2    | Iterations . . . . .                                | 4        |
| 4.1.3    | Graphiques . . . . .                                | 4        |
| 4.1.4    | Conformité . . . . .                                | 4        |
| 4.1.5    | Validation de la trajectoire de référence . . . . . | 4        |
| 4.2      | Élévation . . . . .                                 | 4        |
| 4.2.1    | Design initial . . . . .                            | 4        |
| 4.2.2    | Iterations . . . . .                                | 4        |
| 4.2.3    | Graphiques . . . . .                                | 4        |
| 4.2.4    | Conformité . . . . .                                | 4        |
| 4.2.5    | Validation de la trajectoire de référence . . . . . | 4        |
| <b>5</b> | <b>Conclusion</b>                                   | <b>4</b> |

## Table des figures

# 1 Introduction

# 2 Procédure de conception systématique

# 3 Design du télescope A

## 3.1 Azimut

### 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  $\zeta$  et  $\omega_n$ . À partir du critère de dépassement maximal,  $\zeta$  est calculé à 0.4037. Il y a par contre plusieurs valeurs de  $\omega_n$  possibles, ce qui demande de vérifier lequel sera le plus approprié au contexte présent. Dans notre cas, le  $\omega_n$  de 11.1484 est lui à choisir, car il est le plus grand, ce qui permettra l'atteinte de tous les autres critères de design (prendre le  $\omega_n$  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 ou direct avec delta phi??, 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 sont ensuite déterminées 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.

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

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

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

mettre le resultat de l'ajout du AvPh

mettre lieu de bode

L'ajout de ce 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 le 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 traverse en gain afin de déterminer par combien la phase du système doit être augmentée. Le gain permettant la traverse en fréquence doit rester le même **parce que.....**, 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

$$AvPh = k_a \frac{s - z}{s - p}$$
$$k_a = \frac{K^*}{\left| \frac{s-z}{s-p} \right|}$$
$$AvPh_2 = 1.4459 \cdot \frac{s + 6.3777}{s + 13.3346}$$

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

mettre le resultat de l'ajout du AvPh2

mettre lieu de bode

Comme il est possible de le voir sur les dernières figures () et () il reste une bonne quantité de raie dans le système en azimut. Pour réduire, voire 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 :

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

mettre le resultat de l'ajout du AvPh2

mettre lieu de bode

### 3.1.2 Iterations

Les figures () () () et () montre bien l'effet de l'ajout des compensateur 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. Pour rectifier cette situation, il a suffit 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 3.1.5. 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.

### **3.1.3 Graphiques**

### **3.1.4 Conformité**

### **3.1.5 Validation de la trajectoire de référence**

## **3.2 Élévation**

### **3.2.1 Design initial**

### **3.2.2 Iterations**

### **3.2.3 Graphiques**

### **3.2.4 Conformité**

### **3.2.5 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 Graphiques**

#### **4.1.4 Conformité**

#### **4.1.5 Validation de la trajectoire de référence**

### **4.2 Élévation**

#### **4.2.1 Design initial**

#### **4.2.2 Iterations**

#### **4.2.3 Graphiques**

#### **4.2.4 Conformité**

#### **4.2.5 Validation de la trajectoire de référence**

## **5 Conclusion**