



République Tunisienne
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université de Tunis El Manar
École Nationale d'Ingénieurs de Tunis



Bureau d'étude automatique

Conception d'une commande numérique

Elaboré par :

Zied Janhani

Mohamed Malek Mokaddem

Encadré par :

M. Joseph Haggège

M. Mounir Ayedi

3^{ème} Année Génie électrique

Année universitaire : 2022/2023

Table des matières

Table des figures	3
Introduction	1
1 Présentation du Bureau d'étude	2
1.1 Introduction	2
1.2 Présentation du projet	2
1.3 Environnement Matériel	3
1.3.1 Carte NI MyRio	3
1.3.2 Système de lévitation magnétique	4
1.4 Environnement Logiciel	4
1.4.1 Matlab	5
1.4.2 Simulink	5
1.4.3 LabVIEW	6
1.5 Conclusion	7
2 Etude théorique du système de lévitation magnétique	8
2.1 Introduction	8
2.2 Principe de fonctionnement du système de lévitation magnétique	8
2.2.1 Création de la lévitation magnétique par l'électricité	8
2.2.2 Création d'un électro magnétisme à partir des aimants électriques	9
2.3 Détermination des équations différentielle du système étudié	9
2.4 Modèle d'état du système	12
2.5 Fonction de transfert du système	13
2.6 Conception du système sur Matlab	13
2.6.1 Bloc Simulink du système	13
2.6.2 Test de simulation du système	15
2.7 Conclusion	16

3	Conception de la commande sur le système	17
3.1	Introduction	17
3.2	Principe et calcul d'un régulateur en utilisant la structure par modèle interne	17
3.2.1	Principe du régulateur à modèle interne	17
3.2.2	Synthèse du correcteur par modèle interne	20
3.3	Implémentation de la commande à modèle interne sur notre système	20
3.3.1	Les principes de notre commande	21
3.3.2	Implémentation de la commande sur Matlab	22
3.3.3	L'implémentation du système sur LABVIEW	25
3.4	Conclusion	26
	Annexe	28
	Conclusion	29
	Références Bibliographiques	30

Table des figures

1.1	Photographie du système de lévitation magnétique.	2
1.2	Carte NI MyRio.	3
1.3	Principe du système de lévitation magnétique.	4
1.4	Logo Matlab.	5
1.5	Logo Simulink.	6
1.6	Logo Labview.	7
2.1	présentation de subsystem de bloc Simulink de système.	14
2.2	présentation de subsystem de bloc Simulink de système.	14
2.3	Résultat de simulation.	15
2.4	présentation du bloc Simulink de la régulation PID.	15
2.5	Simulation de la réponse du système sans Régulation.	16
2.6	Simulation de la réponse du système avec Régulation.. . . .	16
3.1	Régulation classique.	17
3.2	Régulation IMT.	18
3.3	Diagramme fonctionnel d'une commande classique	18
3.4	Introduction du modèle interne dans la structure de régulation . . .	19
3.5	Structure de commande par modèle interne	20
3.6	Modèle de la commande sur un système quelconque.	22
3.7	Modèle Simulink sans la Commande	23
3.8	Modèle Matlab de la commande sur le système	23
3.9	Test de simulation Simulink sans la commande.	24
3.10	La réponse du système à la commande sans perturbation.	24
3.11	Modèle de la commande sur le système avec perturbation.	25
3.12	Interface LabView.	26
3.13	Interface LabView.	26

Remerciements

A travers ses lignes que nous écrivons , nous voulons adresser toute notre reconnaissance à nos encadrants Monsieur Josèphe Haggège et Monsieur Monir AYEDI .En effet grâce à leur professionnalisme, leur patience et surtout sa disponibilité sans égal il nous a guidé avec des pas sûrs à réaliser les tâches de notre projet au sein du bureau d'étude .En outre , sa contribution dans les différents étapes du projet en partageant leur savoir-faire et leur valeurs nous ont transmis au delà des connaissances scientifiques mais aussi des principes à suivre surement dans le reste de notre carrière professionnelle.

Nous remercions aussi tout le cadre universitaire de l'école nationale d'ingénieurs de tunis à nous offrir toutes les conditions nécessaires pour saisir cette opportunité et atteindre nos objectifs dans le but de réussir la réalisation de notre bureau d'étude.

Introduction

L'automatisation, la robotisation et l'informatisation globale et généralisée apparaissent, il y a quelques décennies, comme la solution universelle à tous les problèmes de production et de rentabilité. Bien des chefs d'entreprise rêvaient alors de "l'usine sans hommes", une usine à flux tendu sans jamais la moindre interruption, Ils étaient alors exactement dans le même état d'esprit que les industriels et économistes du tout début du 20ème siècle : La capacité d'absorption des produits industriels est infinie et seul la réduction des coûts de production est importante Ce qui nous laisse l'opportunité à saisir.

Dans le cadre de notre formation et notre 3 ème année en spécialité automatique et informatique industrielles en tant qu'élèves ingénieur en génie électrique, nous avons l'opportunité de mettre en œuvre les connaissances acquises durant nos années d'études en ingénierie a travers la realisation des bureaux d'études et ainsi sur rapprocher de l'insertion pour notre carrière professionnelle. L'objectif de ce rapport est de présenter les différentes etapes necessaires menant à la realisation de ce bureau d'étude. Mots clés :Position d'équilibre de la bille, Commande 0 modèle, Carte NI MyRio

Chapitre 1

Présentation du Bureau d'étude

1.1 Introduction

Pour ce premier chapitre nous allons présenter le contexte général de notre bureau d'étude ainsi que la présentation du système sur lequel on va travailler ainsi que l'environnement logiciel et matériel

1.2 Présentation du projet

Il s'agit de modéliser, simuler et concevoir des lois de commande numérique pour le système de lévitation magnétique apparaissant sur la photographie de la figure 1.1 et représenté par le schéma de la figure 1.2 puis d'implémenter ces lois sur une plate-forme programmable conçu à partir de l'interface labview .

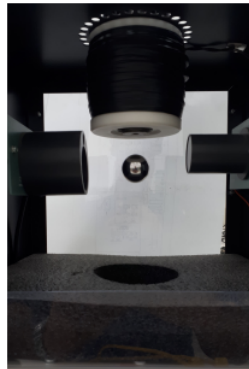


FIGURE 1.1 – Photographie du système de lévitation magnétique.

1.3 Environnement Matériel

En effet , pour assurer l'exécution des tâches une carte NI MyRio est essentiel afin de créer l'interface LabView sur lesquels on assurera le contrôle de l'interface sans oublier le système sur lequel travailler.

1.3.1 Carte NI MyRio

Dispositif intégré étudiant myRIO—Le myRIO-1900 est un outil que vous pouvez utiliser pour enseigner et mettre en œuvre plusieurs concepts de conception avec un seul dispositif d'E/S reconfigurable (RIO). Doté d'E/S des deux côtés de l'appareil sous forme de connecteurs MXP et MSP, il comprend 10 entrées analogiques, six sorties analogiques, 40 lignes d'E/S numériques, le WiFi, des LED, un bouton poussoir, un accéléromètre embarqué, un Xilinx FPGA et un processeur ARM Cortex-A9 double cœur. Vous pouvez programmer le myRIO-1900 avec LabVIEW ou C. Cette version compatible Wi-Fi permet une intégration rapide et facile dans des applications embarquées distantes. Avec ses appareils intégrés, son expérience logicielle transparente et sa bibliothèque de didacticiels et de didacticiels, le myRIO-1900 fournit un outil abordable qui aide les étudiants et les enseignants à réaliser de vrais projets d'ingénierie en un semestre.



FIGURE 1.2 – Carte NI MyRio.

1.3.2 Système de lévitation magnétique

Le système de lévitation magnétique (MLS) est un système dynamique, non linéaire, à coque ouverte, instable et temporellement variable sans mousse. L'application d'une contrainte à un électro-aimant pour maintenir une sphère ferromagnétique en évitement est le principe de fonctionnement de base du MLS. De plus, la sphère peut suivre une valeur d'emplacement variable souhaitée dans le temps. Pour étudier les stratégies d'identification et de contrôle multiboucles ou non linéaires, le débit de la bobine est mesuré. Un contrôleur en temps réel est nécessaire pour empêcher la sphère. Le contrôleur maintient le niveau d'équilibre des forces gravitationnelles et électromagnétiques pour maintenir la sphère à la distance souhaitée de la cible. [3]

La fonctionnalité MATLAB/Simulink en temps réel est disponible dans Microsoft Windows. Lorsqu'il y a deux électro-aimants, celui du bas peut être utilisé comme unité de contraction ou pour une excitation externe. Cette fonctionnalité élargit l'applicabilité MLS et aide les concepteurs à créer des contrôleurs fiables. Le PC avec la carte E/S RT-DAC/PCI peut communiquer avec l'interface d'alimentation. L'utilisateur peut créer rapidement et facilement son propre contrôleur. Une autre variante MLS est représentée à gauche. Au lieu de détecter une position infrarouge, le flux magnétique est mesuré.

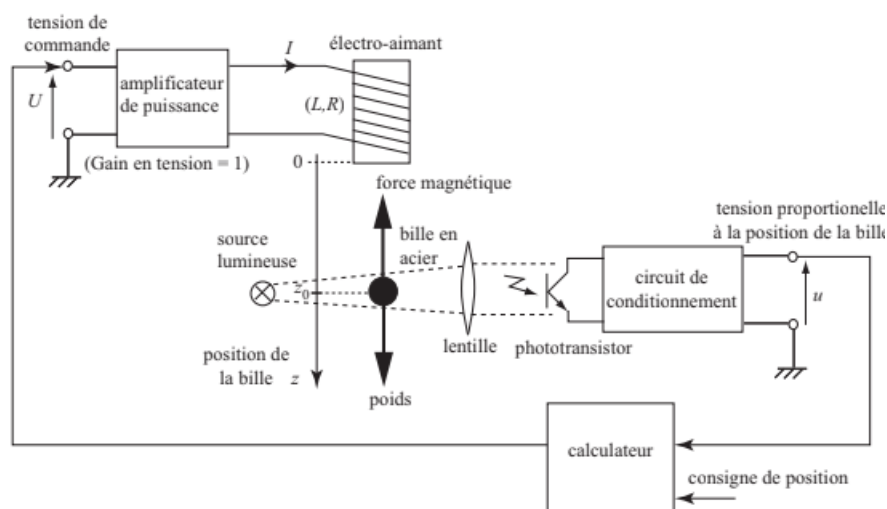


FIGURE 1.3 – Principe du système de lévitation magnétique.

1.4 Environnement Logiciel

On a travaillé sur deux axes le test de la commande à partir de Matlab/Simulink

1.4.1 Matlab

MATLAB combine un environnement de bureau adapté aux processus d'analyse et de conception itératifs avec un langage de programmation qui exprime directement les mathématiques matricielles et matricielles. Il inclut l'éditeur en direct pour créer des scripts qui combinent du code, de la sortie et du texte formaté dans un bloc-notes exécutable.

1. Construit professionnellement :
Les boîtes à outils MATLAB sont développées par des professionnels, rigoureusement testées et entièrement documentées.
2. Avec des applications interactives
Les applications MATLAB vous permettent de voir comment différents algorithmes fonctionnent avec vos données. Itérez jusqu'à obtenir les résultats souhaités, puis générez automatiquement un programme MATLAB pour reproduire ou automatiser votre travail.
3. La capacité d'évoluer :
Faites évoluer vos analyses pour qu'elles s'exécutent sur des clusters, des GPU et des clouds avec seulement des modifications mineures du code. Il n'est pas nécessaire de réécrire votre code ou d'apprendre la programmation Big Data et les techniques de mémoire insuffisante.

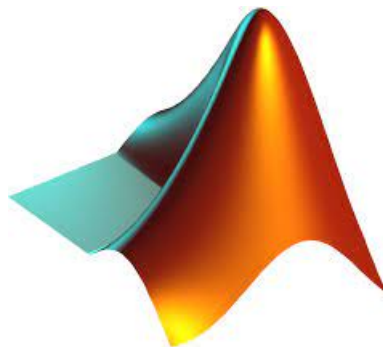


FIGURE 1.4 – Logo Matlab.

1.4.2 Simulink

Simulink est une plateforme de simulation et de modélisation multi-domaines de systèmes dynamiques. Il offre un environnement graphique et une collection de bibliothèques avec des blocs de construction de modélisation qui permettent une conception, une simulation, une mise en œuvre et un contrôle précis du système. Il fournit également des systèmes de traitement du signal. Simulink est intégré à

MATLAB, offrant aux utilisateurs un accès immédiat à tous les nombreux outils de développement algorithmique, de visualisation de données et d'analyse du programme. L'environnement de modélisation et de simulation de Simulink peut simuler le comportement d'un système et décomposer la conception avant sa mise en œuvre. Simulink permet la création de schémas fonctionnels hiérarchiques pour la modélisation de système de haut niveau, tels que les « schémas fonctionnels de fiabilité », ainsi que la construction de simulations complètes qui intègrent des composants tels que des signaux analogiques, des communications numériques et une logique de contrôle.

Il est possible de vérifier que le système est conforme aux spécifications par simulation. La simulation est paramétrée pour maximiser les performances.

Simulink peut simuler des données simples ou multi-canaux, ainsi que des composants linéaires ou non linéaires. Simulink peut simuler des composants numériques, analogiques ou en mode mixte. Il est possible de simuler et de visualiser des sources de signal.

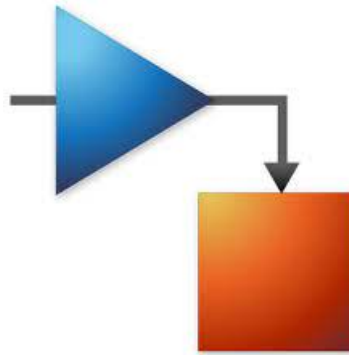


FIGURE 1.5 – Logo Simulink.

1.4.3 LabVIEW

LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) est un programme de développement d'applications liées à l'instrumentation. Développé par la société américaine National Instrument, ce logiciel est applicable à un large éventail de domaines mais est principalement destiné à la collecte de données et au traitement du signal. En outre, il offre une variété de moyens de communication pour les ordinateurs et les périphériques physiques (tels que les connexions USB, GPIB, série et parallèle, et les cartes pour les acquisitions analogiques ou numériques), ainsi qu'une bibliothèque mathématique importante qui permet divers traitements de signaux mesurés.[1]



FIGURE 1.6 – Logo Labview.

1.5 Conclusion

Dans ce chapitre, on a présenté le contexte général de notre projet au sein du bureau d'étude automatique et les outils dont on a besoin pour assurer les tâches de ce dernier et pour avoir un bref aperçu sur le rôle de chacun de ces outils and l'aboutissement du projet.

Chapitre 2

Etude théorique du système de lévitation magnétique

2.1 Introduction

Dans ce chapitre on va présenter une étude théorique sur la totalité du système non linéaire de lévitation magnétique ainsi que sa représentation d'état et la

2.2 Principe de fonctionnement du système de lévitation magnétique

En créant une force magnétique, un phénomène connu sous le nom de lévitation magnétique provoque la suspension ou le déplacement d'objets. Cette force est générée par des objets magnétiques ou en néodyme qui attirent ou repoussent naturellement les objets chargés ferromagnétiquement. Il existe différentes manières de générer une lévitation magnétique. Le champ magnétique qui se forme à partir de l'attracteur est l'élément clé dans cette situation. Ces éléments sont utilisés comme conducteurs ou contrôleurs car ils attirent l'attention sur eux, la repoussent et peuvent donner une trajectoire à un objet. La lévitation magnétique est largement utilisée dans l'industrie du transport puisqu'elle permet de créer des moteurs flottants.

2.2.1 Création de la lévitation magnétique par l'électricité

L'électricité génère une lévitation magnétique par le biais de producteurs de champ magnétique appelés électroaimants. Dans ce cas, plusieurs facteurs interviennent. Le champ magnétique doit changer constamment d'intensité pour que la

l lévitation ait une bonne stabilit ; par cons quent, le courant lectrique envoy aux lectroaimants doit subir une variation continue. De plus, il est crucial de corriger le mouvement, et pour ce faire, on utilise une boucle d'alimentation pour g rer les lectroaimants. La mise en oeuvre de ce principe, par exemple, dans la conception d'un moteur de transport, se traduit par trois exigences, a savoir :

- L'utilisation d'un ou plusieurs lectroaimants pour modifier l'intensit du champ magn tique
- l'utilisation d'un ou plusieurs lectroaimants pour modifier l'intensit du champ magn tique
- un microprocesseur pour le calcul de la stabilit.

2.2.2 Cr ation d'un lectro magn tisme a partir des aimants lectriques

Pour d placer un objet sans qu'il touche le sol ou le suspende, ce qui est l'objectif principal de la l vitation magn tique, vous devez exercer une force gravitationnelle constante.

C'est un peu compliqu e quand il faut utiliser des agents. Ainsi, en commen ant par les lectroaimants, le processus devient plus simple car la puissance est plus forte et la plage de fonctionnement est plus large. Chaque fois qu'un courant lectrique traverse un fil torsad e en forme de bobine, un champ magn tique est produit.

Il est donc envisageable de d placer ou de lancer un objet ferromagn tique selon ce principe. Le d veloppement de nombreux outils et dispositifs, comme le haut-parleur aigu ou encore le moteur d'un v lo lectrique, repose uniquement sur le principe nonc e pr c d mment. Il est possible de produire une l vitation magn tique en utilisant l'nergie lectrique de cette man i re. [2]

2.3 D t ermination des quations diff rentielle du syst me tudi e

Comme on peut le constater, la mise en quation de syst mes non lin eaires apportent des modifications sur l'volution de la (des) sortie(s) du syst me qui ne peuvent tre pris en compte par les syst mes lin eaires. Pour asservir de tels syst mes, il est bien entendu n ecessaire de prendre en compte ces ph nom nes non lin eaires. Nous pr senterons dans un premier temps deux m thodes classiques pour analyser l'volution d'un syst me asservi a partir d'hypoth ses limitatrices. La prem i ere m thode, appel e M thode du premier harmonique permet de pr voir approximativement certains comportements non lin eaires et se contente de d t erminer le cycle

limite (amplitude et fréquence). L'avantage de cette méthode est la possibilité d'utiliser les méthodes fréquentielles classiques. La méthode du plan de phase est une méthode temporelle limitée aux systèmes d'ordre 2. Outre sa simplicité, l'intérêt de présenter cette méthode est d'introduire des notions (plan de phase) relative à l'étude de tout système non linéaire. Nous introduirons ensuite la notion de stabilité. Cette notion de stabilité est primordiale pour asservir des systèmes en prenant en compte des erreurs de modélisations. Cela permet d'estimer globalement le fonctionnement du système asservi sans avoir à déterminer les trajectoires. En effet afin d'étudier un système aussi diversifié et complexe il faut premièrement effectuer un bilan de force :

Pour créer une force magnétique, on envoie d'abord un courant dans le nid du frelon. Cette force dépend du courant qui la traverse ainsi que l'influence de la bobine à travers son inductance. Cette inductance dépend également de la position de la bille lorsqu'il existe. Voici l'expression de cette force appliquée :

$$F_m = \frac{1}{2} \frac{kI^2}{z^2}.$$

Dans le but d'avoir l'équilibre du bilan des forces mécaniques la force exercée sur la bille qui est la force de pesanteur présenté par :

$$\vec{P} = m\vec{g}$$

Bilan des forces :

$$\vec{F}_m = -\vec{P}$$

Ce qui nous donne la première équation différentielle représentative du système :

$$\frac{dz^2}{dt^2} = g - \frac{KI^2}{2mz^2}$$

Bilan électrique :

En effet la tension de commande U qui est d'après le système de lévitation magnétique aux bornes de la bobine caractérisé par son inductance L et d'une résistance R d'où la réalisation de notre bilan ci dessous :

$$L \frac{dI}{dt} + RI = U$$

Donc pour approuver la complexité du système et sa non linéarité nous avons un système d'équations ci dessous qui a des équations à coefficients non constates :

$$\begin{cases} L \frac{dI}{dt} + RI = U(1) \\ g - \frac{KI^2}{2mz^2} = \frac{dz^2}{dt^2}(2) \end{cases}$$

Ainsi on peut affirmer que la fonction non linéaire est :

De ce fait dans le but de simplifier l'analyse et la synthèse de ce système d'équations, on a comme ultime choix d'une linéarisation autour d'un point d'équilibre défini par ce système (I_0, z_0) . Le principe de cette linéarisation consiste à effectuer un développement limité d'ordre 1 au point d'équilibre et de négliger les termes d'ordre supérieur qui est représenté par la formule mathématique

$$\ddot{z} = \frac{\partial f(i, z)}{\partial x} |_{(I_0, z_0)} \Delta i + \frac{\partial f(i, z)}{\partial z} |_{(I_0, z_0)} \Delta z$$

D'après l'expression n°(2) on peut dégager la relation ci-dessous

$$\ddot{z} = g - \frac{KI^2}{2mz^2}$$

or

$$\begin{aligned} \ddot{z} &= 0 \\ \Rightarrow g &= \frac{KI^2}{2mz^2} \\ \Rightarrow \frac{2mg}{k} &= \frac{I_0^2}{z_0^2} \end{aligned}$$

A partir de l'équation (1), on peut déterminer la relation entre R , U_0 et I_0 qui est la suivante :

$$\dot{I} = \frac{U}{L} - \frac{R}{L} I$$

or au point d'équilibre

$$\begin{aligned} \dot{I} &= 0 \\ \Rightarrow U_0 &= RI_0 \\ \Rightarrow \frac{2mg}{k} &= \frac{U_0^2}{(RI_0)^2} \end{aligned}$$

On obtient finalement après l'injection de ces équation dans le développement limité :

$$\ddot{z} = \frac{-kI_0^2}{2m} \Delta i + \frac{kI_0^2}{2mz_0^3} \Delta z$$

2.4 Modèle d'état du système

Pour présenter notre modèle d'état du système de lévitation magnétique on a défini l'ensemble des paramètres suivantes.

s

- $x_1 = I$
- $x_2 = Z$
- $x_3 = \dot{Z}$

A partir des équations précédentes, on obtient le système d'équation suivant :

- $\dot{x}_1 = g - \frac{U}{L} - \frac{R}{L}x_3$
- $\dot{x}_2 = x_3$
- $\dot{x}_3 = g - \frac{x_3^2}{\frac{kx_3^2}{2mx_1^2}}$

Les dérivées partielles de la matrice $[X1, X2, X3]^T$

- $\frac{\partial x_1}{\partial x_1} = 0; \frac{\partial x_2}{\partial x_1} = 0; \frac{\partial x_3}{\partial x_1} = \frac{-kx_3^2}{mx_1^2}$
- $\frac{\partial x_1}{\partial x_2} = 0; \frac{\partial x_2}{\partial x_2} = 0; \frac{\partial x_3}{\partial x_2} = 0$
- $\frac{\partial x_2}{\partial x_3} = 1; \frac{\partial x_2}{\partial x_3} = \frac{-R}{L}; \frac{\partial x_3}{\partial x_3} = \frac{-kx_3^2}{mx_1^2}$

Les dérivées partielles pour U sont :

- $\frac{\partial x_1}{\partial u} = \frac{-1}{L}; \frac{\partial x_2}{\partial u} = 0; \frac{\partial x_3}{\partial u} = 0$

Pour donner la représentation d'état de notre système, on commence par le calcul de la matrice jacobienne qui est la matrice formée des dérivées partielles x_1, x_2 et x_3 ce qui aboutit à avoir la matrice J représenté ci-dessous

$$J = \begin{pmatrix} 0 & 0 & \frac{-R}{L} \\ 0 & 0 & 1 \\ \frac{2}{mx_1^2} & 0 & \frac{2}{mx_1^2} \end{pmatrix}$$

donc on a obtenu le modèle d'état suivant :
$$\begin{cases} \dot{X} = AX + BU \\ Y = CX \end{cases}$$

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 0 & \frac{-R}{L} \\ 0 & 0 & 1 \\ \frac{2}{mx_1^2} & 0 & \frac{2}{mx_1^2} \end{pmatrix} \quad B = \begin{pmatrix} \frac{1}{L} \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad C = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

2.5 Fonction de transfert du système

On a déjà calculé :

$$\begin{aligned}\ddot{z} &= \frac{-kI_0^2}{2m}\Delta i + \frac{kI_0^2}{2mz_0^3}\Delta z \\ \Rightarrow p^2 \Delta Z(p) &= \frac{-kI_0^2}{2m}\Delta I(p) + \frac{kI_0^2}{2mz_0^3}\Delta Z(p) \\ \Rightarrow \frac{\Delta Z(p)}{\Delta I(p)} &= \frac{\frac{-kI_0^2}{2m}}{p^2 - \frac{kI_0^2}{2mz_0^3}}\end{aligned}$$

or

$$\begin{aligned}\Delta I(p) &= \frac{\Delta U(p)}{Lp + R} \\ \Rightarrow \frac{\Delta Z(p)}{\Delta U(p)} &= \frac{\frac{-kI_0^2}{2m}}{(p^2 - \frac{kI_0^2}{2mz_0^3})(Lp + R)}\end{aligned}$$

et finalement on obtient la fonction de transfert finale

$$H(p) = \frac{\frac{-kI_0^2}{2m}}{Lp^3 + Rp^2 - \frac{LkI_0^2}{mz_0^3} - R\frac{LkI_0^2}{mz_0^3}}$$

2.6 Conception du système sur Matlab

2.6.1 Bloc Simulink du système

Pour réaliser toutes les simulations, nous avons travaillé avec le logiciel Matlab Simulink. Le bloc Simulink ayant comme entrées la tension U , la position d'équilibre Z_0 ainsi que le courant I_0 et comme sortie la position z de la bille. Ce bloc est représentée par la figure 1.3 ci-dessous.

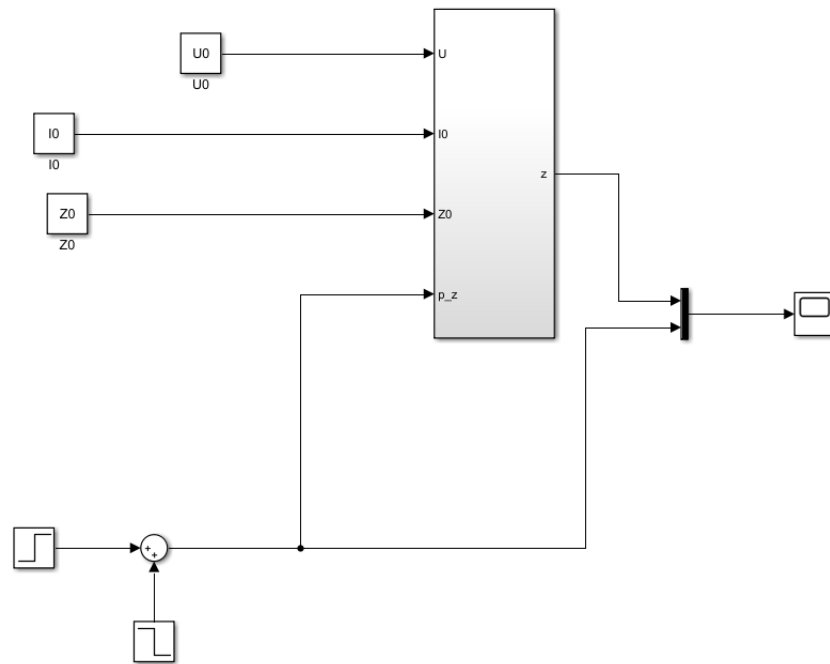


FIGURE 2.1 – présentation de subsystem de bloc Simulink de système.

Le subsystem de ce bloc simulink contient l'ensemble des blocs présentes ici

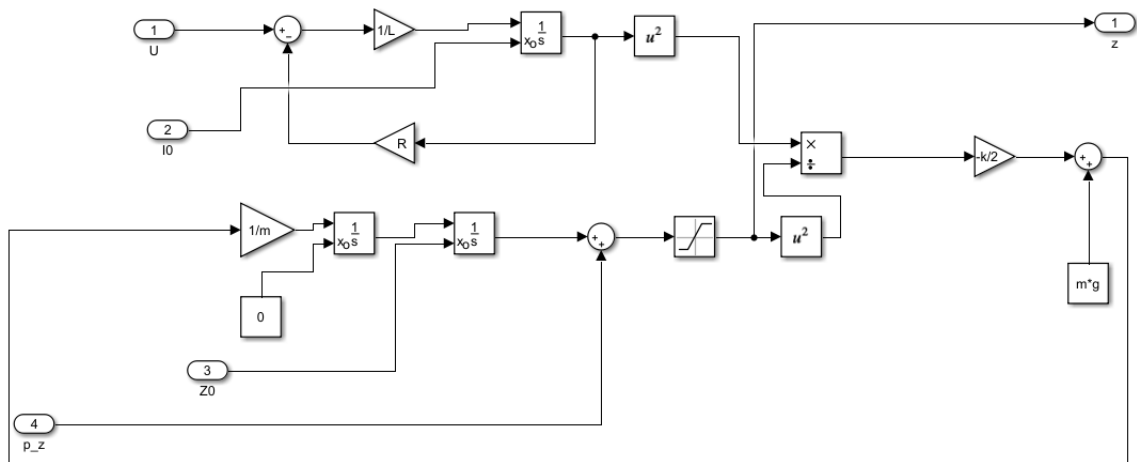


FIGURE 2.2 – présentation de subsystem de bloc Simulink de système.

2.6.2 Test de simulation du système

Dans cette partie on a testé le fonctionnement de bloc simulink qu'on a réalisé avec les valeurs numériques rassemblés dans le fichier.m qui a été créée et on a représenté la position z en fonction du temps.

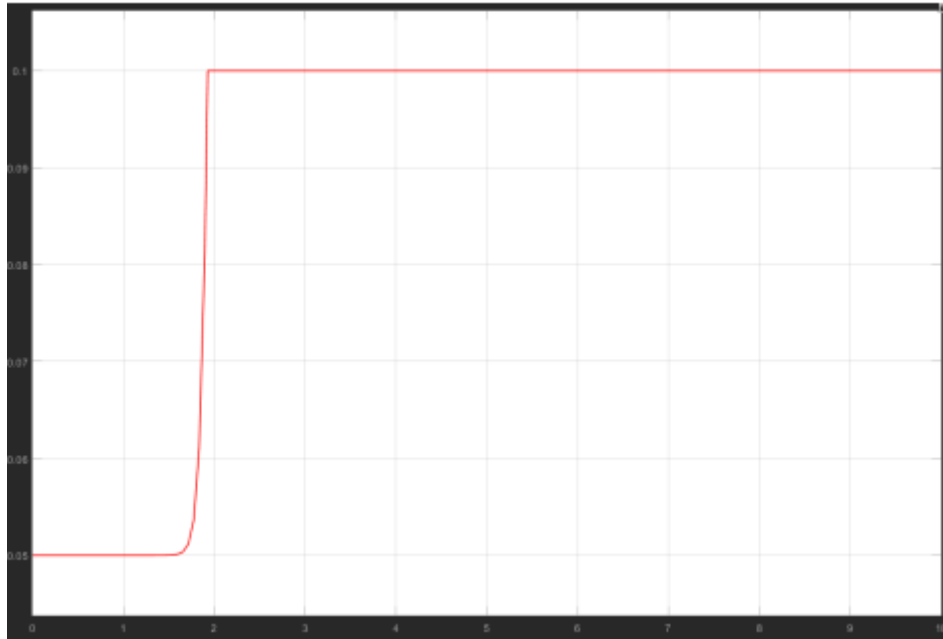


FIGURE 2.3 – Résultat de simulation.

Pour d'autres tests on effectué une correction PID au premier degré pour avoir des résultats concrets et avoir une idée précise sur la réponse du système pour une telle régulation

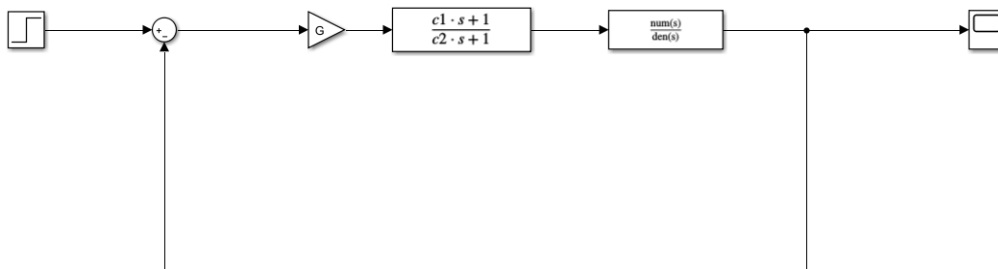


FIGURE 2.4 – présentation du bloc Simulink de la régulation PID.

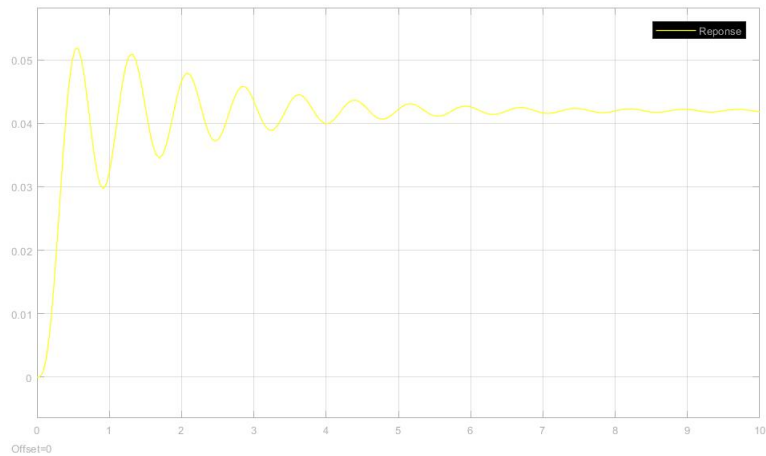


FIGURE 2.5 – Simulation de la réponse du système sans Régulation.

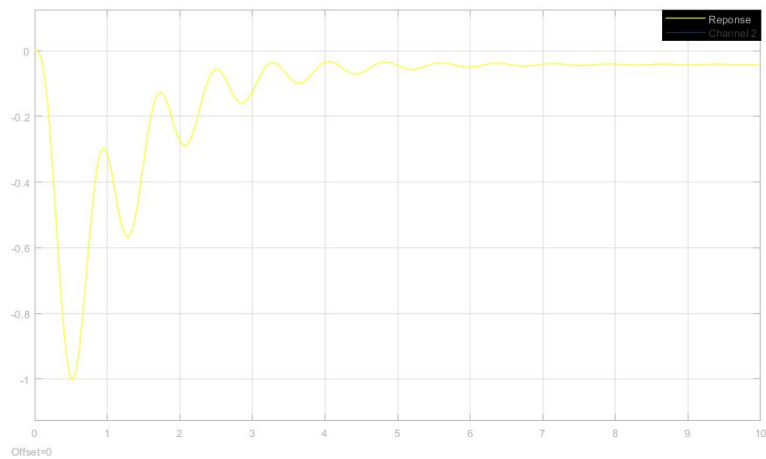


FIGURE 2.6 – Simulation de la réponse du système avec Régulation..

2.7 Conclusion

Dans de chapitre l'étude théorique nous a laissé l'opportunité d'avancer sur le projet et ainsi préparer le terrain favorable afin de réussir nos objectifs

Chapitre 3

Conception de la commande sur le système

3.1 Introduction

En effet dans ce chapitre on présenter la conception et toutes les tests possible sur Matlab/Simulink et aussi LabView afin d'implémenter notre commande dans le système de lévitation magnétique

3.2 Principe et calcul d'un régulateur en utilisant la structure par modèle interne

3.2.1 Principe du régulateur à modèle interne

Présentation intuitive de la structure IMC

Le principe d'une régulation classique est effectué de cette manière par la figure ci-dessous

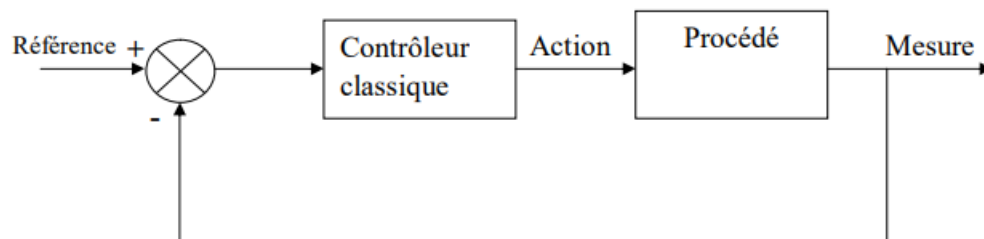


FIGURE 3.1 – Régulation classique.

La structure du correcteur à modèle interne est donnée par la figure ci-dessous

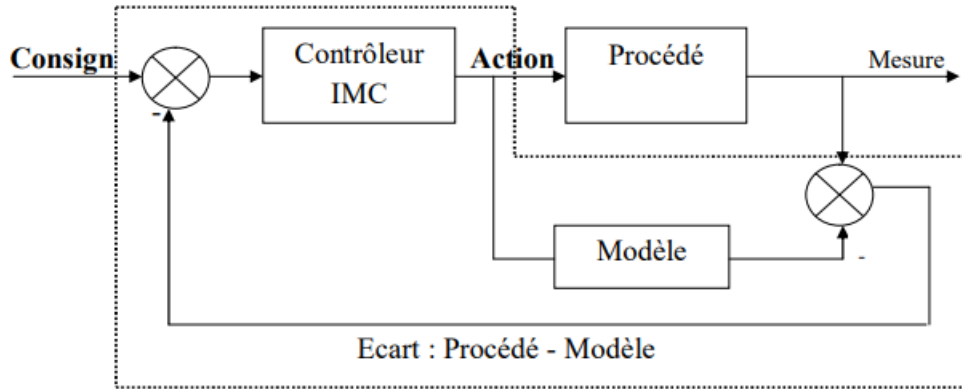


FIGURE 3.2 – Régulation IMT.

La partie encadrée sur le figure est en fait la partie régulation elle est composée de deux grandes parties suivantes

- Le régulateur proprement dit
- Le modèle du procédé.

Passage de la régulation classique à la régulation par modèle interne

Considérons la boucle de régulation classique (figure (II.3)) d'un processus représenté par sa fonction de transfert $G(p)$, un correcteur $C(p)$, un signal d'entrée $y_{ref}(p)$, un signal de sortie $y(p)$ et une perturbation $P(p)$ en sortie du processus.

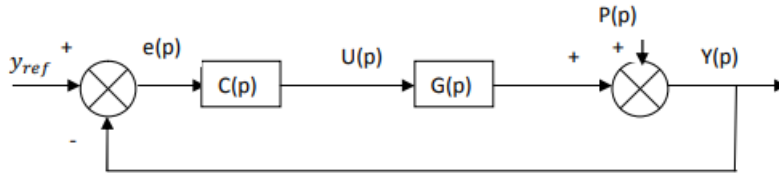


FIGURE 3.3 – Diagramme fonctionnel d'une commande classique .

D'après cette figure on a l'expression de commande :

1. $U(p) = C(p)e(p)$
2. $U(p) = C(p)(y_{ref}(p) - y(p))$

Supposons que nous avons à notre disposition un modèle du processus $M(p)$; Ce modèle pouvant être obtenu par identification ou par modélisation. Souvent, $M(p)$

est beaucoup moins complexe que le modèle réel $G(p)$ du procédé à commander nous souhaitons utiliser cette connaissance dans la boucle. La figure ci-dessous fait intervenir $M(p)$ sans modifier le schéma de régulation.

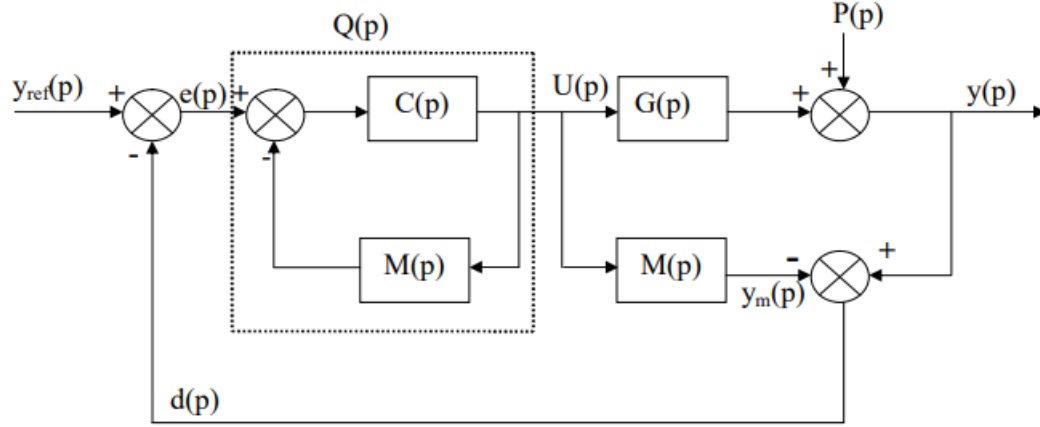


FIGURE 3.4 – Introduction du modèle interne dans la structure de régulation .

1. $Q(p) = \frac{C(p)}{1+C(p)M(p)}$
Dans ce cas, on a la commande sous forme
2. $U(p) = C(p)(e(p) - M(p)U(p))$
3. $e(p) = y_{réf}(p) - d(p)$
4. $U(p) = C(p)(y_{réf} - d(p) - M(p)U(p))$
5. $d(p) = y(p) - M(p)U(p)$
6. $U(p) = y_{réf}(p) - y(p)$

Cette dernière expression montre donc que les expressions (1) et celle de la régulation classique sont égales, il y a équivalence entre les deux représentations. Dans le schéma de régulation classique, on doit avoir une connaissance parfaite du système à commander afin de déterminer l'expression du contrôleur. Dans le second schéma, on tient compte de l'écart entre le processus et le modèle. Si on assimile la boucle $[C(p), M(p)]$ à un correcteur $Q(p)$ (relation (1)) on obtient la structure de commande donnée par la figure ci-dessous

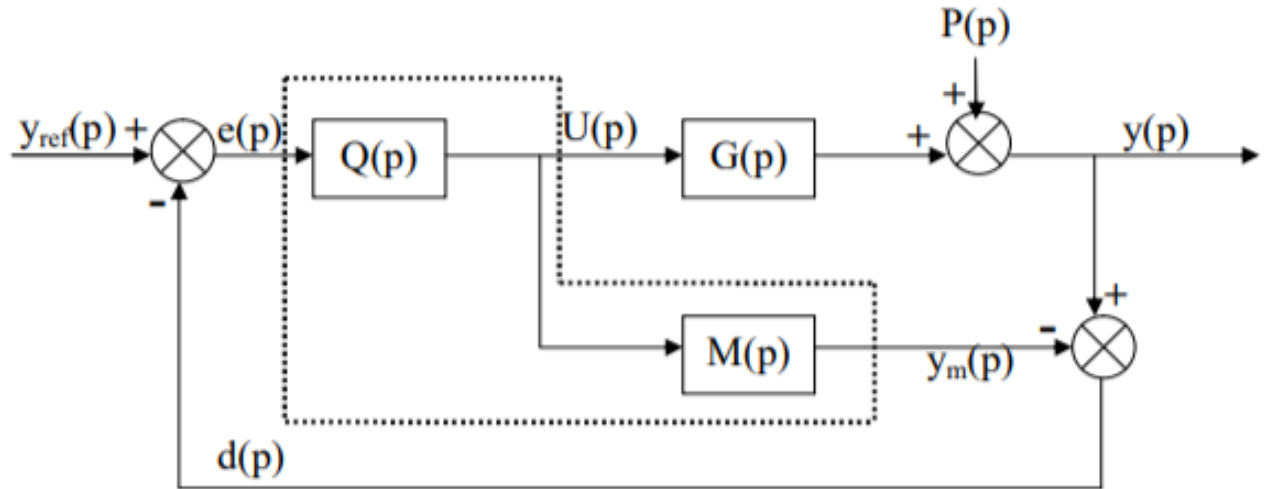


FIGURE 3.5 – Structure de commande par modèle interne .

De cette façon, nous avons effectué le passage progressif de la régulation classique à la commande par modèle interne. Donc comme son nom l'indique, la commande par modèle interne (IMC) incorpore une simulation du processus par un modèle interne dans sa structure de commande. La commande $U(p)$ issue du correcteur $Q(p)$ est appliquée simultanément au procédé $G(p)$ et son modèle $M(p)$. La comparaison des sorties génère un signal d'erreur $e(p)$ qui est utilisé. Pour modifier l'entrée du correcteur afin de permettre à la commande de mieux piloter le procédé.

3.2.2 Synthèse du correcteur par modèle interne

Expression de $U(p)$ et de $y(p)$

Dans le cas où le procédé et son modèle diffèrent, la commande par modèle interne permet d'estimer les perturbations et qu'elle admet comme signal de retour l'écart entre le processus et son modèle interne.

3.3 Implémentation de la commande à modèle interne sur notre système

:

3.3.1 Les principes de notre commande

- Calculer notre Modele à partir de la fonction du transfert et decomposer

$$F_m(z) = F_{ms}(z)F_{mi}(z)$$

D'où $F_{ms}(z)$ représente le modele a partie inverse stable et $F_{mi}(z)$ represente le modele a partie inverse instable d'où

$$Drf = 0$$

$$n = 2$$

$$R = \frac{z^n * (1 - Drf)^n}{(z - Drf)^n}$$

En variant les parametres Drf et n en fonction du degré du bruit

- Choisir une dynamique de poursuite et regulation d'où $G_p(z)$: dynamique de poursuite $G_r(z)$: dynamique de régulation Pour le calcul du $G_p(z)$:

$$TpsRepPoursuite = 0.5$$

;

$$n_p = 2$$

$$TauPoursuite = \frac{TpsRepPoursuite}{(1.533 * n_p + 1.605)}$$

$$Dp = \exp(-Te/TauPoursuite)$$

;

$$Gp = \frac{(1 - Dp)^{n_p}}{(z - Dp)^{n_p}}$$

- Choix le Temps de reponse du poursuite
- Choix du n_p il faut qu'il aide a avoir un denuminateur de degré superieur a celle du numerateur
- Choix du n_p il faut qu'il aide a avoir un denuminateur de degré superieur a celle du numerateur
- Calcul du TauxPoursuite et Dp afin de pouvoir calculer notre dynamique de poursuite $G_p(z)$ Presque meme pour la dynamique de regulation $G_r(z)$:

$$TpsRepRegul = 0.02$$

;

$$n_r = 2$$

$$TauRegul = \frac{TpsRepRegul}{(1.533nr + 1.605)}$$

$$Dr = exp(-\frac{Te}{TauRegul})$$

;

$$Gr = \frac{(1 - Dr)^{nr}}{(z - Dr)^{nr}}$$

- En assurant la causalité du système d'où $Cp(z) = \frac{G_p(z)}{F_{ms}(z)}$ Le but de correcteur est d'assurer la correction du système afin que la sortie S soit plus stable et plus proche du valeur du consigne Yc

$$C_r(z) = \frac{G_r(z)}{F_{ms}(z)}$$

Le but de ce correcteur est d'assurer la correction du système lors d'intervenir une perturbation

De ce fait pour assurer les objectifs demandés on va suivre toutes les instructions du principe et ainsi étudier le modèle sur LabVIEW et aussi sur Matlab Simulink

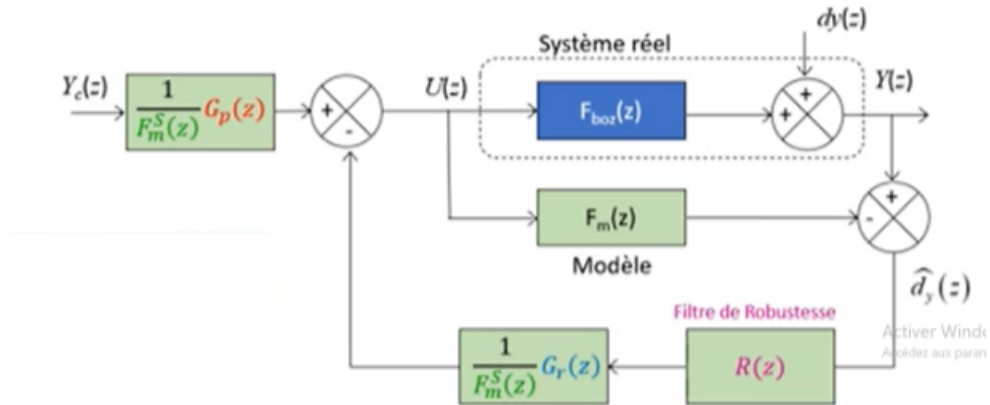


FIGURE 3.6 – Modèle de la commande sur un système quelconque.

3.3.2 Implémentation de la commande sur Matlab

En effet pour cette partie on a implémenté la commande par modèle interne sur le système de lévitation magnétique suivant le principe et le modèle existant étudié dans l'autre partie vous trouverez dans l'annexe le script matlab des équations du modèle et pour cette partie nous allons dévoiler les blocs Simulink et aussi les

test de simulation en ayant comme entrée un échelon unitaire ci -joint la liste des objectifs atteints de la simulation et des blocs Simulink

- Le système réel sans correction
- Le modèle du système et implémentation de la commande
- La courbe de la fonction de transfert sans la correction
- Le courbe de la fonction de transfert avec la perturbation et sans correction
- la courbe avec la perturbation et correction



FIGURE 3.7 – Modèle Simulink sans la Commande .

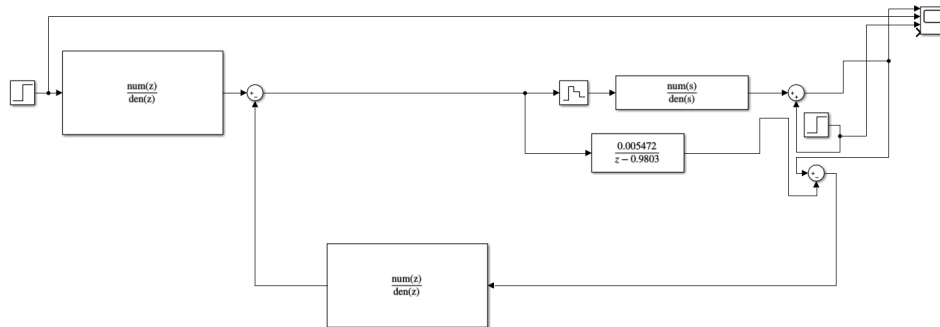


FIGURE 3.8 – Modèle Matlab de la commande sur le système .

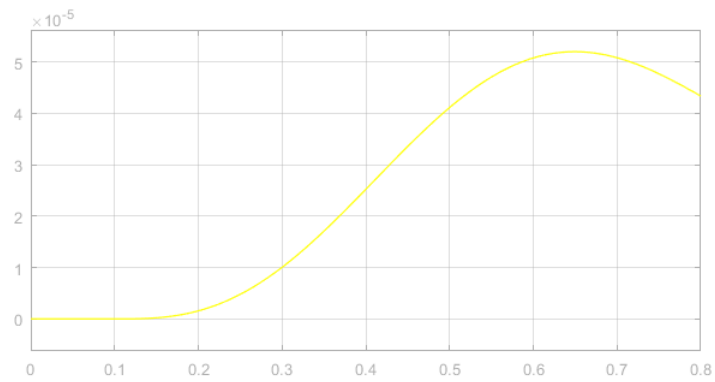


FIGURE 3.9 – Test de simulation Simulink sans la commande.

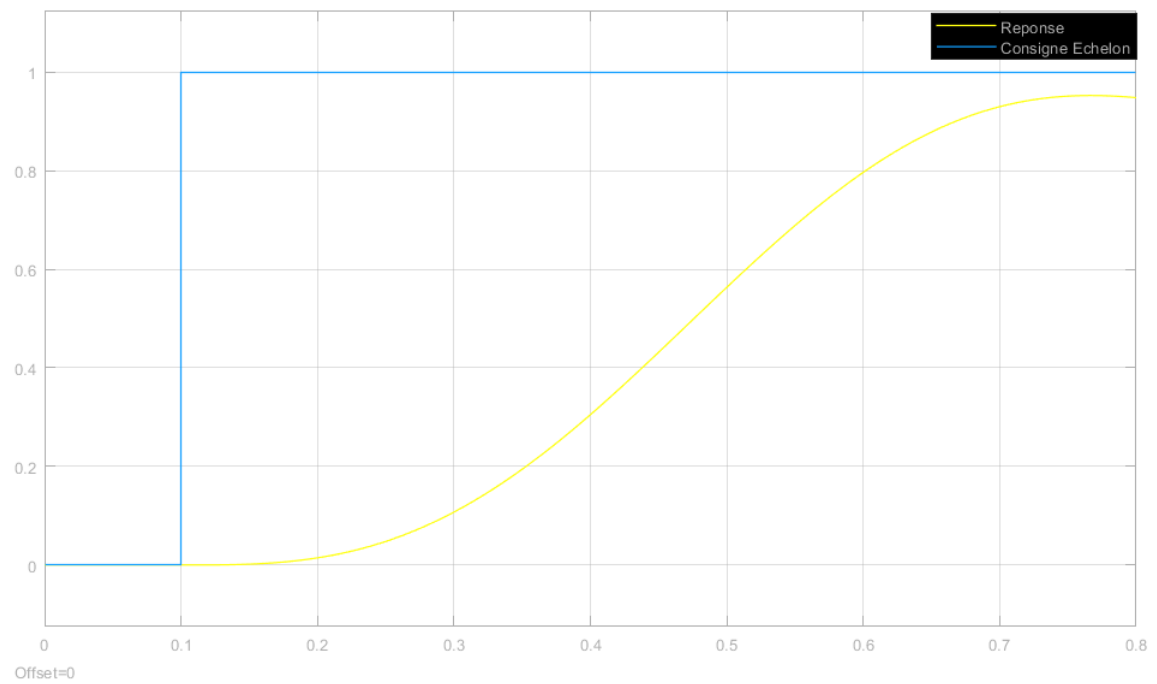


FIGURE 3.10 – La réponse du système à la commande sans perturbation.

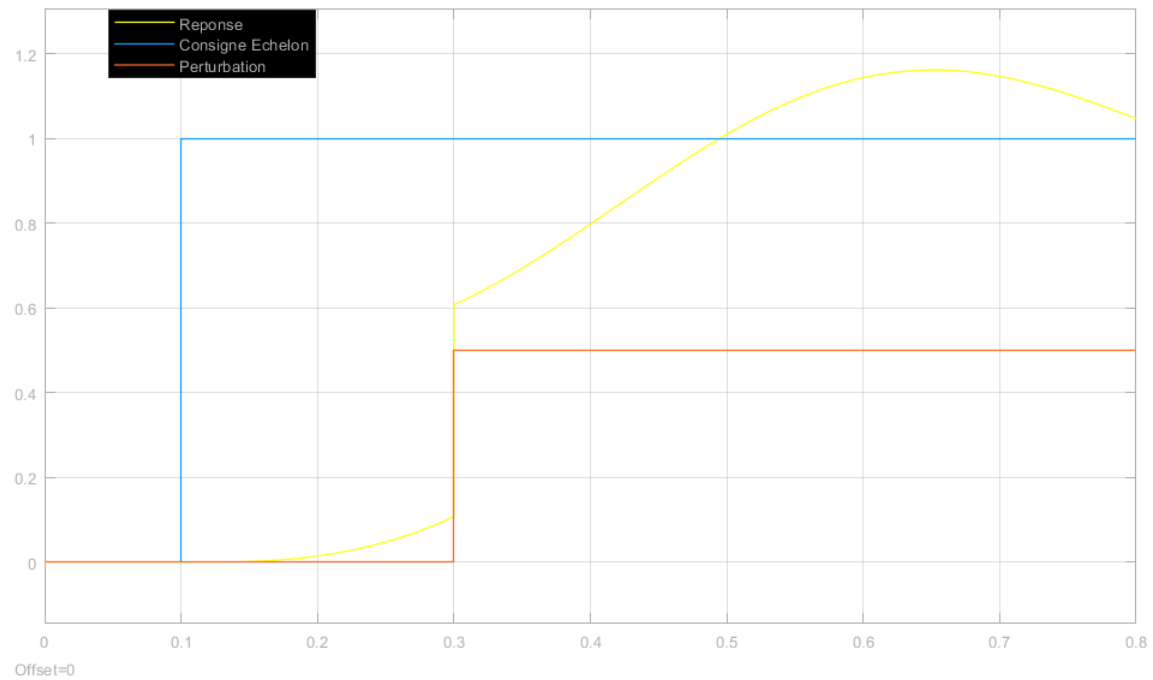


FIGURE 3.11 – Modèle de la commande sur le système avec perturbation.

on remarque que pour notre système : il y a des problèmes : sa sortie atteint des amplitudes très faibles d'ordre de 0.00005, il diverge si on ajoute une perturbation, il ne suit pas la consigne. Les corrections : on a ajouté des corrections de poursuite et de régulation pour régler ses problèmes et on a pris comme filtre de robustesse $=0$ et il n'y a pas une source de bruit.

3.3.3 L'implémentation du système sur LABVIEW

En effet, pour cette partie, on a implémenté la commande par modèle interne sur le système de lévitation magnétique suivant le principe et le modèle existant étudié dans l'autre partie. Vous et pour cette partie, nous allons dévoiler les blocs de fonction de transfert et aussi les tests de simulation en ayant comme entrée les entrées du système réel grâce à la carte Ni MyRio qui nous ont donné l'opportunité de lire une bibliothèque de la carte et ainsi se connecter à un système de lévitation magnétique ci-joint l'interface Labview.

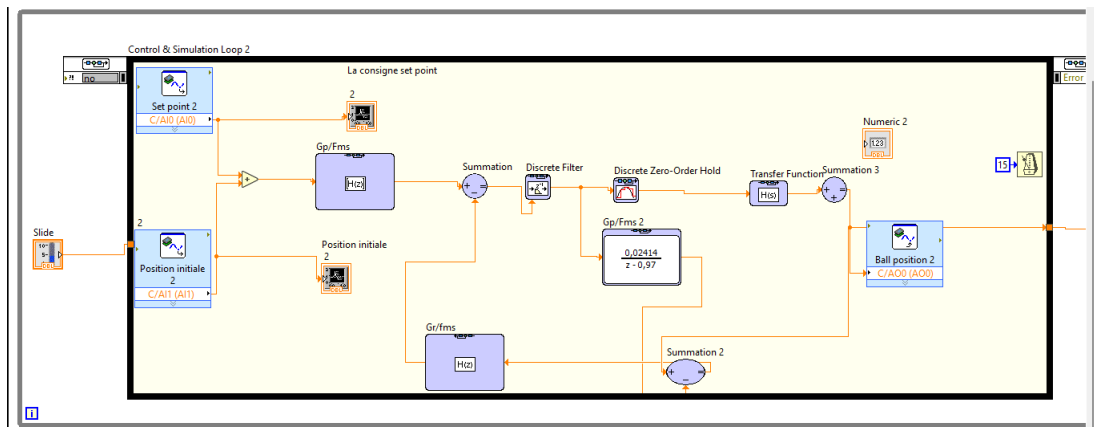


FIGURE 3.12 – Interface LabView.

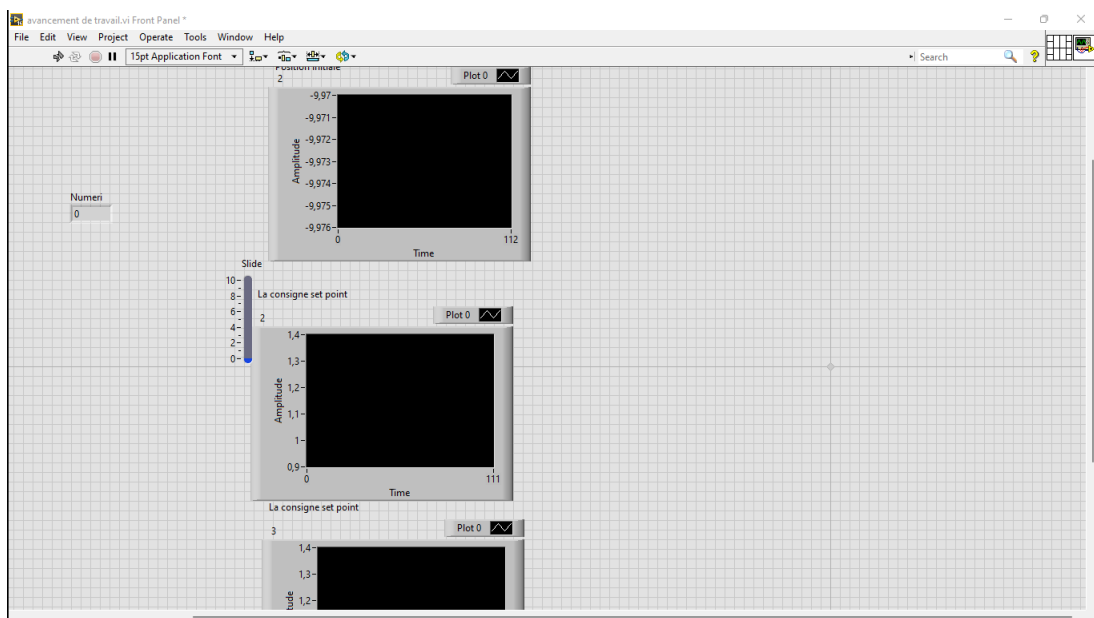


FIGURE 3.13 – Interface LabView.

3.4 Conclusion

De ce chapitre, on a explicité les différentes étapes qui ont mené à l'implémentation des lois de la commande à modèle interne sur MATLAB ainsi que la réalisation de l'interface de supervision sous labVIEW en manipulant la carte NI MyRio

Annexe

```

Fonction de transfert en p
0.0042
-----
0.0038 p^3 + 0.0194 p^2 + 0.2677 p + 1
Fonction de transfert en z
2.288e-08 z^2 + 9.092e-08 z + 2.259e-08
-----
z^3 - 2.973 z^2 + 2.948 z - 0.9748
avec periode d'echantillonnage:0.005s
Choix du Fm(p)=1.1053/(p+3.988) Fm(z)= Fms(z)
0.005472
-----
z - 0.9803
choix Gp
TpsRepPoursuite=0.00575s;
np=2;
TauPoursuite=TpsRepPoursuite/(1.533*np+1.605);
Dp=exp(-Te/TauPoursuite);
Gp=(1-Dp)^np/(z-Dp)^np
0.9659
-----
z^2 - 0.03444 z + 0.0002965
Gp(z)/Fms(z)=
0.9659 z - 0.9468
-----
0.005472 z^2 - 0.0001884 z + 1.622e-06

choix Gr:
TpsRepRegul=0.003s;
nr=2;
TauRegul=TpsRepRegul/(1.533*nr+1.605);
Dr=exp(-Te/TauRegul);
Gr=(1-Dr)^nr/(z-Dr)^nr

Gr(z)/Fms(z)=
28
0.9992 z - 0.9795
-----
0.005472 z^2 - 4.552e-06 z + 9.466e-10

consigne echelon : d'amplitude 1 commence a 0.1s
Perturbation : d'amplitude 0.5 commence a 0.3s

```

Conclusion

Enfin cette expérience nous a exposé à la réalité du monde professionnel en voyant les diverses difficultés qu'un ingénieur peut rencontrer, et les approches adoptées pour les résoudre, nous pouvons dire que le travail d'un ingénieur demande beaucoup de concentration, d'ouverture d'esprit et de communication avec les membres de l'équipe. Bien que ce projet est très enrichissant et m'a permis d'apprendre à travailler sur un réel projet complexe, totalement différent des projets réalisés au cours de mon parcours académique, quelques perspectives sont à considérer dans mes travaux futurs, à savoir : L'amélioration et l'adaptation du système suivant les besoins des entreprises industriels. Faire des tournées et des visites aux diverses entreprises afin d'exposer mon travail

Références Bibliographiques

- [1] LABVIEW. *Labview*. <https://www.es-france.com/17270-labview-systeme-de-developpement-professionnel-abonnement-annuel.html>. Fév. 2015.
- [2] électricité des système de lévitation MAGNÉTIQUE. *Le problème de l'énergie du vide*. <https://www.papernest.com/blog/comment-lelectricite-permet-elle-de-creer-de-la-levitation-magnetique/#:~:text=de>. Mars 2016.
- [3] MATLAB. *MATLAB*. <https://www.mathworks.com/products/matlab.html>. Jan. 2018.