Université Mohamed Khider de Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Electrique

MÉMOIRE DE MASTER

Sciences et Technologies
Automatique
Automatique et Informatique Industrielle

Réf. : ...

Présenté et soutenu par :
Hemeir Farouk

Le : mardi 28 juin 2022

Commande adaptative à modèle de référence d'un système linéaire

---

Jury :

M.	TOUBA Mostefa Mohamed	MCA	Université de Biskra	Président
M.	MESSAOUDI Abdelhamid	MCA	Université de Biskra	Examinateur
Mme.	TERKI Nadjiba	PR	Université de Biskra	Rapporteur

Année universitaire : 2021 - 2022

Université Mohamed Khider de Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Electrique

MÉMOIRE DE MASTER

Sciences et Technologies
Automatique
Automatique et Informatique Industrielle

Réf. : ...

Commande adaptative à modèle de référence d'un système linéaire

Le : mardi 28 juin 2022

Présenté par :
FAROUK Hemeir

Avis favorable de l'encadreur :
TERKI Nadjiba

Signature Avis favorable du Président du Jury

Cachet et signature

Remerciement

D’abord nous remercions le bon Dieu qui nous a donné la foi, le Courage et la patience pour bienmenerce travail.

Je tiens à exprimertoute ma reconnaissance à ma derectrice de mémoire, Madame TERKI NADJIBA. Je la remercie de m'avoirencadré ,orienté, aidé et conseillé.

Par ailleurs nous tenons à remercier les membres du jury accepter d’évaluerce travail.

Enfin, je tiens à remercier les personnes qui nous ontaidé de prèsou de loin.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail

A ma très chère mère, source de tendresse

A mon très cher père, qui m'encourage

Dans les instants délicats

A mes chers frères

A toute ma famille

A tous mes amis

Hemeir Farouk.

Table des matières

Chapitre III : résultats et simulation

Table des figures

Introduction Générale

Introduction

L'automatique fait partie des sciences de l'ingénieur. Cette discipline traite la modélisation, l'analyse, la commande et, de la régulation des systèmes dynamiques. Elle a pour fondements théoriques les mathématiques, la théorie du signal et l'informatique théorique. L'automatique permet l'automatisation de tâches par des machines fonctionnant sans intervention humaine. On parle alors de système asservi ou régulé.

La théorie des systèmes a connu des progrès importants à travers les années. La plupart des techniques d'analyse et de synthèse sont basées sur des modèles linéaires des procédés commandés. Néanmoins, la nature non linéaire des systèmes physiques et en raison des performances de plus en plus croissantes exigées dans les applications industrielles, alors l'usage des techniques de commande avancée (commande adaptative, commande optimale, commande par mode de glissement,) devient indispensable[1].

De nos jours, les techniques de commande avancée deviennent l'un des domaines de recherche les plus actifs. En parallèle, on dispose de calculateurs puissants et une variété d'outils logiciels. Ce qui facilite la synthèse de lois de commande avancées et leur exécution, sans difficultés en temps réel

La première étape dans l'étude d'un système de commande est la modélisation. Des modèles simples sont souvent adoptés. Le calcul de la loi de commande se fait ensuite d'une manière séparée à base du modèle élaboré, sans prise en compte de certains aspects physiques du processus à commander (variations paramétriques, consommation excessive d'énergie, …). Ce qui conduit à des performances insuffisantes aux régimes transitoire et établi. Les variations paramétriques déstabilisent des systèmes de commande conventionnelle(régulateur à paramètres fixes) et dégrade les performances en boucle fermée. La solution efficace est de faire appel à des techniques de commande adaptative[2].

Ces techniques d'estimation sont connues depuis les Années soixante. Elles permettent d'obtenir un modelé mathématique qui représente le plus fidèlement possible le comportement dynamique d'un processus.

Dans ce modeste travail on présentera une application des techniques de la commande adaptative à la commande des systèmes linéaires.

Ce mémoire est composé de trois chapitres :

Dans Le premier chapitre nous présentons les éléments essentiels permettant de mettre en œuvre de cette commande, Dans le deuxième chapitre, nous présentons la synthèse des lois de commande adaptative avec modèle de référence,

Le troisième chapitre est consacré à la simulation de la commande adaptative a modèle de référence MRAC sur un système de premier ordre

Nous terminerons par une conclusion générale sur l'ensemble de ce travail.

CHAPITRE I

La commande adaptative

I.1. Introduction

Les variations paramétriques d'un processus réel dans le temps suivant les changements de l'environnement sont influés par la régulation du système bouclé avec des contrôleurs à paramètres fixe. Dans ces conditions, il faut trouver un régulateur qu'il est le pouvoir de l'adaptation devant ces variations, parmi ces régulateurs on trouve les régulateurs adaptatifs qui sont basés essentiellement sur l'identification en ligne des paramètres du procédé. Ces techniques d'estimation sont connues depuis les années soixante. Elles permettent d'obtenir un modèle mathématique qui représente le plus fidèlement possible le comportement dynamique d'un processus .Donc, la commande adaptative fait partie d'un ensemble de techniques destinées à ajuster automatiquement les paramètres du correcteur des systèmes de commande lorsque les caractéristiques du processus et les perturbations sont inconnues ou varient dans le temps[1].

L'objectif de ce chapitre consiste à donner le principe de la commande adaptative, ainsi que les différentes techniques de la commande adaptative.

I.2. Historique

La commande adaptative a débutée principalement dans les années 50, comme solution pour contrôler les processus fonctionnant sous des conditions et environnements variables dans le temps. Dans les années 60, plusieurs contributions de la théorie de commande ont été introduites dans le développement de la commande adaptative, comme par exemple l'analyse dans l'espace d'état, théorie de stabilité, théorie de la commande stochastique et programmation dynamique. Au début des années 70, les différentes méthodes d'estimation ont été introduites dans la commande adaptative. La théorie de stabilité de la commande adaptative a commencé au début des années 80, en parallèle avec la rapide évolution en microélectronique qui a permis d'implémenter des régulateurs adaptatifs sur des systèmes à microprocesseurs[2].

I.3. Principe de la commande adaptative

C'est l'ensemble des techniques utilisés pour l'ajustement automatique en ligne et en temps réel des régulateurs des boucles de commande, afin de réaliser ou de maintenir un certain niveau de performances, quand les paramètres du procédé à commander sont soit inconnus soit et variables dans le temps[3].

I.3.1. Les tâches typiques de la commande adaptative

Les systèmes de commande adaptative (CA) peuvent réaliser quelques tâches typiques à savoir - Ajustement automatique des régulateurs à la mise en œuvre,

- Détermination automatique des paramètres optimaux des régulateurs dans les différents points de fonctionnement du procédé,
- Maintien des performances du système de CA quand les caractéristiques du procédé changent,
- Détection des variations anormales des caractéristiques des procédés (ces variations se reflètent dans les valeurs des paramètres fournis par l'algorithme d'adaptation paramétrique),
- Possibilité de mise en œuvre des régulateurs plus complexes et plus performants que le P.I.D (ceci comme conséquence de l'ajustement automatique des paramètres du régulateur),
- Conception de nouveaux procédés technologiques utilisant des systèmes de CA qui assure le bon fonctionnement du procédé[3].

I.3.2. Domaines d'application de la commande adaptative :

La commande adaptative à été utilisée avec sucée pour un grand nombre d'applications tell que:

- Traitement des matériaux bruts (concasseurs, mélangeurs)
- Fours de séchage et traitement thermique
- Cimenteries
- Réacteurs chimiques
- Colonnes à distiller
- Machines à papier
- Échangeur de chaleur
- Régulation de Ph
- Systèmes énergétiques
- Pilotage automatique des Bateaux
- Asservissement à moteurs électriques
- Systèmes d'armes - Robots manipulateurs[4].

L'utilisation des systèmes de CA connaît aujourd'hui un essor certain, d'une part, à cause de leur complexité raisonnable et, d'autre part, à cause du développement des cartes à microprocesseurs pouvant servir de support pour leur mise en œuvre. En ce qui concerne la rentabilité, les éléments suivants sont à prendre en compte Amélioration de la qualité des produits, augmentation de la production, économie d'énergie, espacement des arrêts d'entretien et détection précoce des anomalies[3].

I.3.4.Commande conventionnelle à contre-réaction et commande adaptative (Similarités et différences):

Les variations non-mesurables et inconnues des paramètres d'un procédé affectent les performances d'un système de commande en boucle fermée utilisant un régulateur à paramètres fixes. Ces variations sont provoquées par des perturbations paramétriques agissant sur le procédé, en plus des perturbations externes agissant sur les variables à réguler.

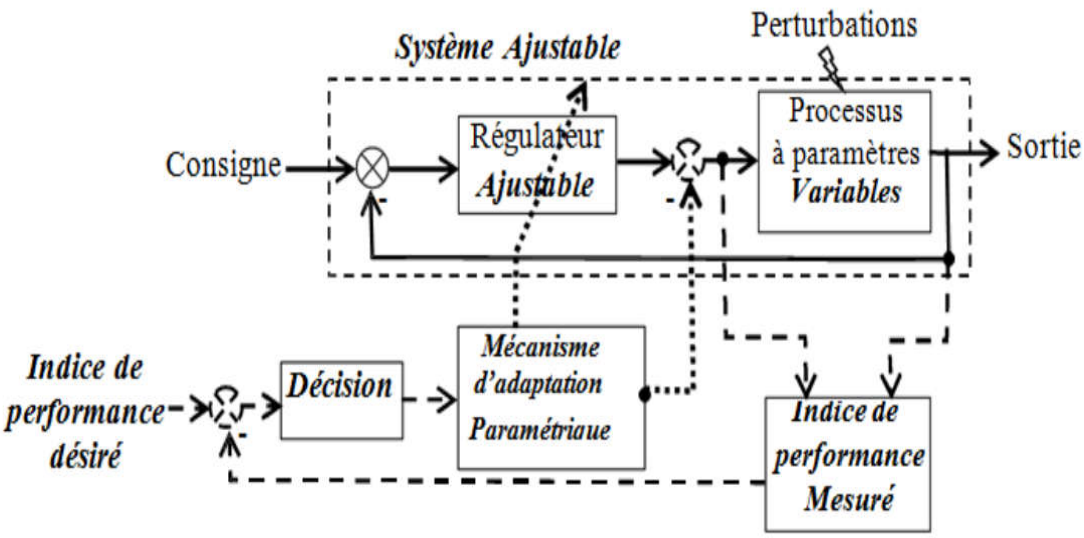
Nous pouvons donc distinguer deux types de perturbations :

a) Perturbations agissant sur les variables à réguler

b) Perturbations (paramétriques) agissant sur les performances du système de commande[4].

Une approche conceptuellement similaire peut être considérée pour le problème du maintien des performances d'un système de commande en présence des perturbations (variations) paramétriques. Il faut définir d'abord un indice de performance mesuré (I.P mesuré) du système qui est une mesure des performances du système (exemple : facteur d'amortissement pour des systèmes caractérisés par une fonction de transfert du deuxième ordre). Il faut après mesurer cet I.P réel et le comparé avec l'indice de performance désiré (I.P désiré). La différence entre l'I.P désiré et l'I.P mesuré est appliquée par un mécanisme d'adaptation paramétrique (M.A.P). Le M.A.P adapte (modifie) les paramètres du régulateur ou agit directement sur le signal de commande afin de modifier d'une manière appropriée les performances du système[3].

Le principe des systèmes de commande adaptative est illustré dans la figure suivante :



FigI.1 : Schéma de principe d'un système de commande adaptative.

I.4. Définition d'un système de commande adaptative :

Un système de commande adaptative mesure un certain indice de performance (I.P) du système de commande et à partir de l'écart entre l'indice de performance désiré et l'indice de performance mesuré, le mécanisme d'adaptation modifie les paramètres du régulateur ajustable ou les signaux de commande afin de maintenir l'I.P. du système dans le voisinage des valeurs désirées[5].

Un système de commande en B.F conventionnelle réduit l'effet des perturbations externes agissant sur les variables (sorties) du système, or ses performances dynamiques vont varier à cause des variations (perturbations) paramétriques. [4].

I.5. Différentes techniques de commande adaptative

Il existe différents types de schéma destinés à assurer des performances acceptables quand les paramètres du procédé sont inconnus ou varient dans le temps, mais seulement celles qui ont une boucle de contre-réaction sur la mesure de performance sont réellement des schémas de commande adaptative[4].

Trois approches ont été essentiellement considérées pour le développement des stratégies de commande adaptative des systèmes à paramètres inconnus ou variables dans le temps [1]:

- Approximations des stratégies de commande optimale stochastique « dual » ;
- Commande Adaptative « directe » avec Modèle de Référence (CAMR);
- Commande adaptative « indirecte » : Système de Commande Auto-Ajustable (CAA).

I.5.1. Commande dual :

Dans cette commande les paramètres inconnus sont traités comme des états additionnels du système, ce qui transforme même un très simple problème de commande linéaire en un problème de commande non-linéaire stochastique. Donc, le régulateur est composé d'un estimateur non linéaire suivi par le régulateur proprement dit, où il y a une dualité entre la minimisation du critère d'estimation et du critère de commande[2].

I.5.2.Commande adaptative « directe » avec modèle de référence :

La MRAC a été originellement développé par Waitaker et ses collègues en 1958. Ces dernières années, elle est devenue un moyen très efficace pour la commande des systèmes a paramètres inconnus et /ou variable dans le temps[6].

La première étape de calcul de MRAC est de définir un « modèle de référence » qui est une fonction de transfert (FT) représentant les performances désirées en boucle fermée. La différence entre la sortie $y(kT_e)$ du procédé et celle $y_M(kT_e)$ du modèle de référence est une mesure de la différence entre les performances mesurées (réelles) et désirées. Cette information est utilisée par le mécanisme d'adaptation paramètrique (qui reçoit aussi d'autres mesures : commande et sortie) pour ajuster automatiquement les paramètres du régulateur (figureI.2) [3].

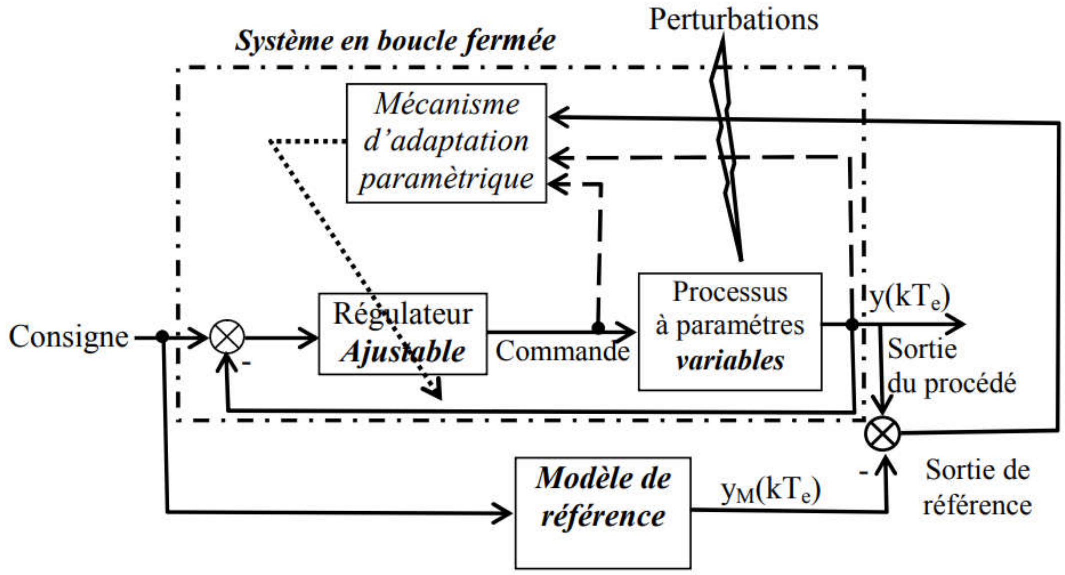
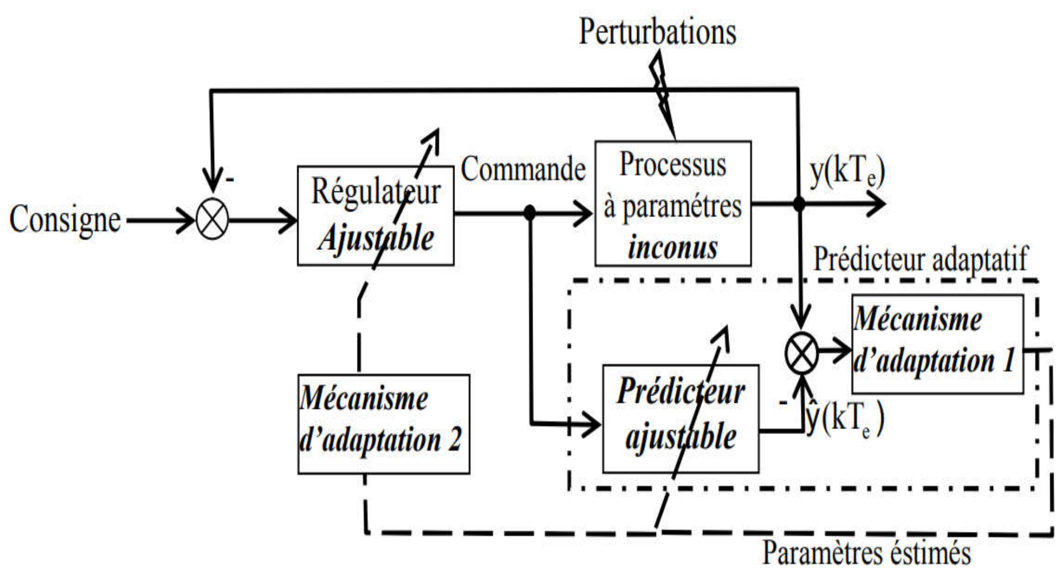


Fig I.2 : Schéma d'une commande adaptative directe avec modèle de référence.

I.5.3. Commande adaptative indirecte auto-ajustable :

La commande adaptative indirecte avec identification du modèle (MRAC), encore appelée commande auto-ajustable, a été introduite dès 1958 par Kalman. Ce type de commande adaptative est basé sur les principes de séparation et d'équivalence certaine. Le développement de la CAA (STC en anglais) repose sur la même hypothèse que le MRAC. La caractéristique de cette stratégie est que le modèle du procédé utilisé pour le calcul est remplacé par un modèle estimé (identifié) en temps réel (prédicteur ajustable avec un mécanisme d'adaptation paramétrique), à partir des entrées et des sorties du procédé (figure I.3) [5].



FigI.3 : Schéma d'une commande adaptative indirecte Auto-ajustable.

I.6. Commande adaptative directe et indirecte

Comme nous l'avons cité, le principe de la commande adaptative consiste en l'ajustement des paramètres du régulateur. Cet ajustement se fait en une seule étape (commande adaptative directe), soit en deux étapes (commande adaptative indirecte). Le schéma de la commande adaptative que soit direct ou indirect contient deux boucle[6]:

-Une boucle a contre-réaction formée par le processus avec le régulateur.

-Une boucle d'adaptation qui permet d'ajuster les paramètres du régulateur.

I.6.1.Commande adaptative directe

L'idée consiste à calculer les paramètres du régulateur, mais sans identifier explicitement les paramètres du système, donc en une seule étape, justifiant ainsi la thermologie de commande directe. Cette technique induit souvent des algorithmes plus rapides et favorise une application temps réel.

La figure(I.4) illustre ce type de commande, pour laquelle les performances de la boucle fermée sont spécifiées par l'intermédiaire Y_md'un modèle de référence choisie par l'utilisateur de façon cohérente avec les possibilités intrinsèques du système[6].

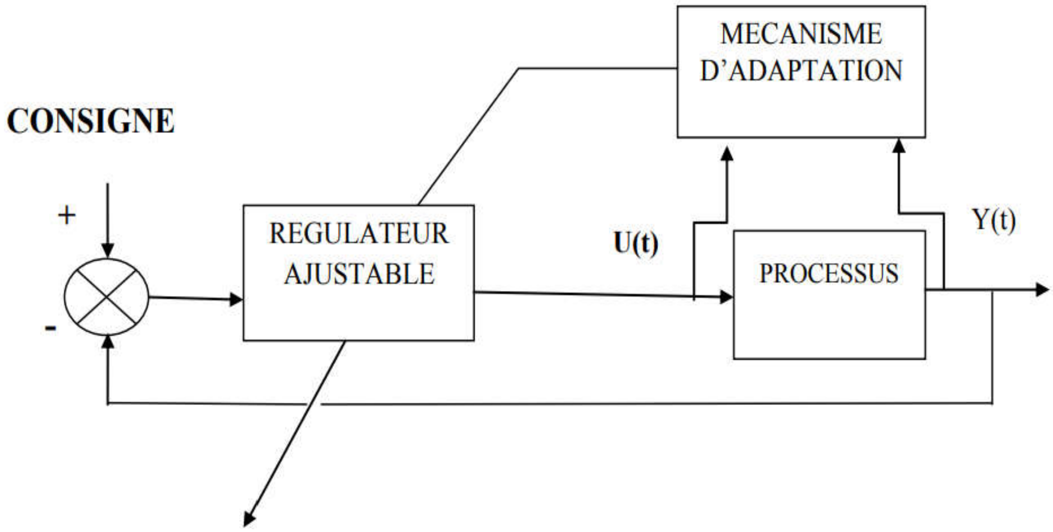


Fig I.4 : la commande adaptative directe.

I. 6.2. Commande adaptative indirecte

Le schéma de commande indirecte est inspiré du concept de la commande adaptative qui consiste à identifier les paramètres du processus, ensuite les utiliser pour le calcul de la loi de commande[6].

Le principe de ce type de commande est illustré dans la figure (I.5).

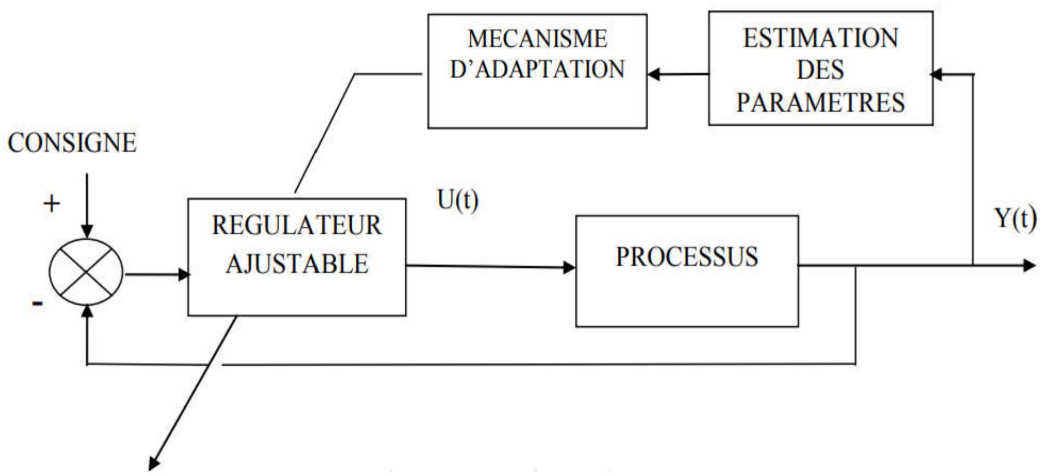


Fig I.5 :la commande adaptative indirecte.

I.7. Commande par Gain programmé :

Cette méthode suppose que les non-linéarités sont connues, car il n’existe pas de correction pour compenser une programmation incorrecte (fonctionnement en boucle ouverte). Elle a cependant l’avantage d’ajuster rapidement les paramètres du correcteur lors de changements rapides de la dynamique du processus (figure I.6) [1].

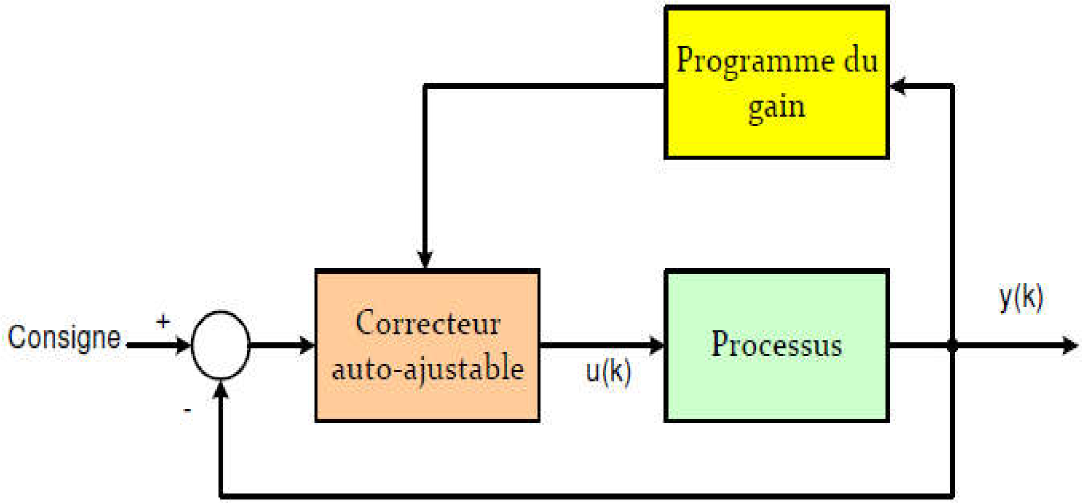


Fig I.6. Commande adaptative par Gain programmé

I.8. Les systèmes asservis et le modèle mathématique

I.8.1 Définition du système

Le système est un ensemble d'objets interconnectés qui coopèrent pour réaliser une fonction. Son état est affecté par une ou plusieurs variables. Tout système est caractérisé par deux sortes des signaux[7]:

a) signaux d'entrée

Ce sont des grandeurs indépendantes du système mais qui agissent sur son état en tant que cause. On trouvera :

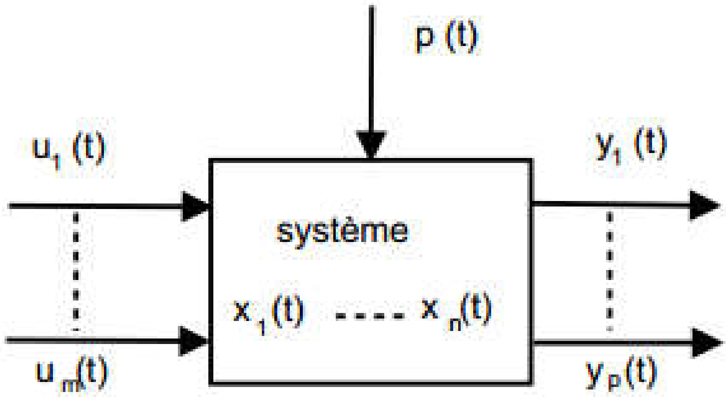
Les signaux de commande qui permettent d'agir sur le système et de le piloter vers un but spécifié.

Les signaux de perturbations qui affectent le système. Généralement, on ne pourra pas agir sur celles ci car leur mode d'action sera difficile[7].

b) signaux de sortie

Ce sont les effets des grandeurs d'entrée que l'on peut observer généralement au moyenne d'un capteur.

Il est courant de représenter un système à l'aide d'un diagramme, dit diagramme fonctionnelle qui traduit la relation cause-effet des entrées et des sorties. La Figure I.7 illustre cette representation[7].



FigI.7- Diagramme fonctionnel d'un système.

Les grandeurs appliquées à une entrée permettant de faire évaluer le système. Les grandeurs de sortie, conséquence des entrées rendent comptes de cette évolution, mais les entrées et les sorties seules su-sent pas à caractériser l'évolution du système, il faut y ajouter les états. Les états sont des variables internes, et constituant la mémoire de. Il su-t de connaitre l'état de système à l'instant initial quelconque pour prédire son comportement futur sous l'action d'entrée connue.

Classes des systèmes les systèmes dynamiques peuvent être classés en plusieurs classes comme le montre La Figure I.8. [8].

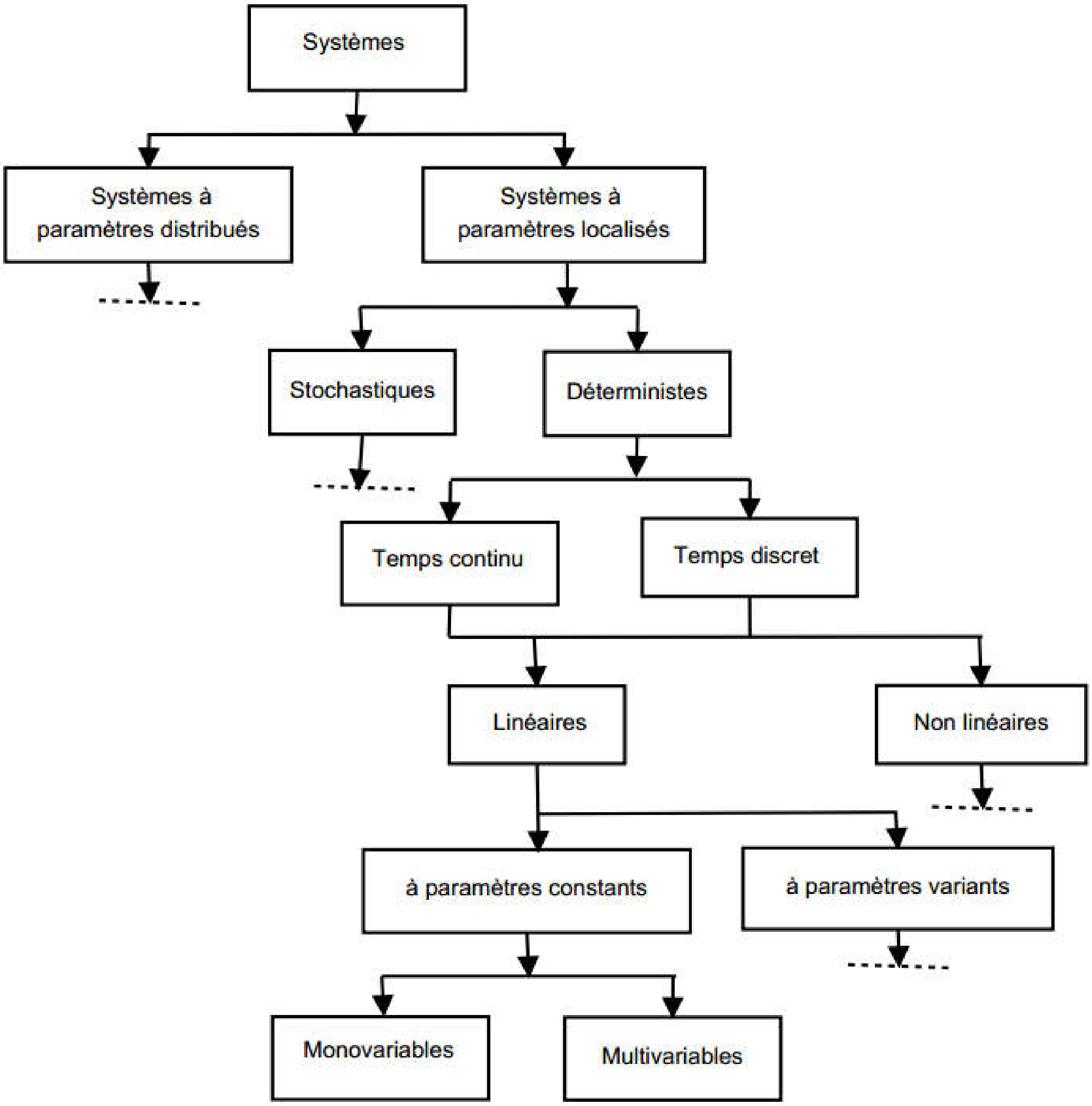


Fig I.8. Classification des systèmes.

1.2.2.1 Systèmes mono entrée-mono sortie

Ce sont des systèmes ne comportant qu'un seul signal d'entrée et un seul signal de sortie[8].

1.2.2.2 Systèmes multi-entrées-multi-sorties

Ce sont des systèmes comportant plusieurs signaux d'entrée et plusieurs signaux de sortie[8].

1.2.2.3 Systèmes stationnaires et systèmes non stationnaires

Les systèmes stationnaires sont des systèmes dont le modèle mathématique n'a aucun coefficient dépendant du temps. Autrement les systèmes non stationnaires où le modèle mathématique à des coefficients dépendant du temps[8].

2.2.4 Systèmes continus-systèmes discrets

On parle des systèmes continus quant tous les signaux d'entrée et les signaux de sortie sont définit à tout instant de temps ¨*t*¨. Les systèmes discrets quant tous les signaux d'entrée et les signaux de sortie sont définis périodiquement dans le temps.

On parle également d'un système continu-discret quand on veut piloter (commander) un processus par ordinateur. On considère alors un bloqueur et un échantillonneur comme schématisé dans la Figure I.9.[8].

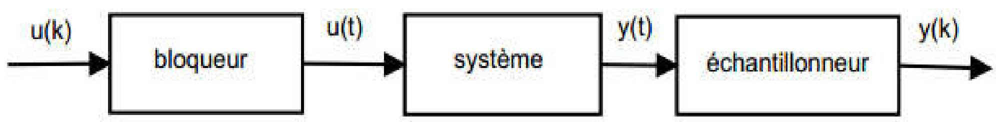


Fig I.9.Bloqueur-échantillonneur.

Le bloqueur permet de passer d'un système discret à un système continu

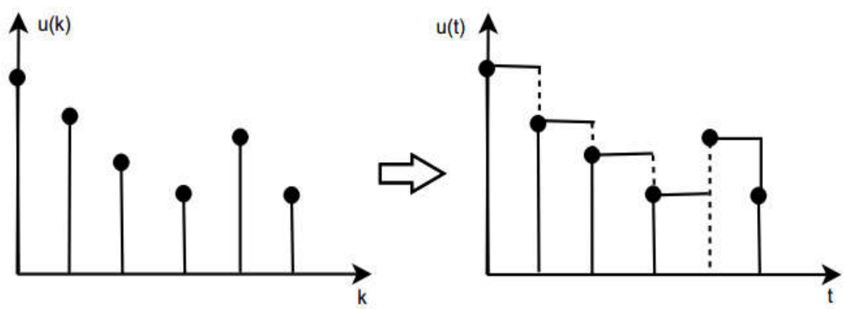


Fig I.10. Bloqueur ordre0.

L'échantillonneur permet de passer d'un système continu à un système discret (Figure).

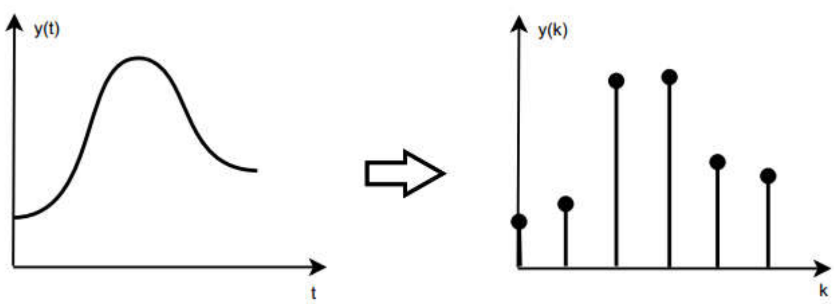


Fig I.11. Échantillonneur.

1.2.2.5 Système statique ou système dynamique

Un système statique est un système dont la réponse à un signal d'entrée est instantanée. La variable indépendante, temps *t*, n'intervient pas dans le fonctionnement de ce type de système, ce système n'a pas une mémoire.

Un système dynamique est un système dont la réponse dépend simultanément d'entrée présent et des réponses passées, ce système a une mémoire[8].

1.2.2.6 Systèmes déterministes-systèmes stochastiques

Un système déterministe dont le comportement est parfaitement prévisible, c'est-à-dire en connaissant le signal d'entrée, on peut calculer la sortie exactement à partir de modèle du système.

Un système stochastique est un système à comportement aléatoire. Certains paramètres dépendent des variables aléatoires et le signal de la sortie ne peut pas être determine exactement [8].

1.2.2.7 Système non linéaire

Un système est non linéaire si le signal de la sortie est une fonction non linéaire par rapport au signal d'entrée.

En présentation interne, les systèmes non linéaires sont généralement décrits sous la forme simplifiée suivante [8]:

$$\dot{x} = f(t,x) \ \forall t \geq t_0 \tag{I.1}$$

$$x(t_0) = x_0 \tag{I.2}$$

Où *f* est une fonction vectorielle non linéaire.

1.2.2.8 Système linéaire

Un système est linéaire s'il vériffe le théorème de superposition, c'est-à-dire lorsque les signaux d'entrée $u1(t), u2(t) \cdots, up(t)$ produisant les signaux de sortie $y1(t), y2(t), \cdots, yp(t)$, alors le signal d'entrée $c1u1(t) + c2\, u2(t) + \cdots + cp\, up(t)$ produisent le signal de sortie $c1\, y1(t) + c2y2(t) + \cdots + cpyp(t)$. Avec $c1, c2 \cdots cp$sont des constantes.

En présentation interne, les systèmes linéaires sont généralement décrits par l'équation d'état sous la forme suivante[8]:

$$\dot{x}\ (t) = Ax(t) + B\, u(t) \tag{I.3}$$

$$y(t) = cx(t) + D\, u(t) \tag{I.4}$$

Avec :

$x(t) \in R^n$ vecteur d'état.

$u(t) \in R^m$vecteur de commande.

$y(t) \in R^p$ vecteur w< sortie.

A : Matrice d'état de dimension ($n \times n$).

B : Matrice de commande de dimension ($n \times m$).

C : Matrice d'observation de dimension ($p \times n$).

D : Matrice de transmission de dimension ($p \times m$).

1.2.2.9 Systèmes à paramètres constants ou variables dans le temps

Les systèmes à paramètres constants sont fixes, c'est-à-dire ne dépend pas de la variable de temps.

Les systèmes à paramètres variables dans le temps sont des systèmes dont leurs paramètres sont toujours inconnus, c'est-à-dire dépend de la variable de temps[7].

Remarque

Les paramètres variables dans le temps peuvent être incertains, c'est-à-dire leurs valeurs sont constantes mais inconnus (les valeurs des paramètres sont bornées).

Les paramètres variables ou incertains peuvent être classées en deux catégories :

Paramètres prévisibles : on peut connaitre toutes les valeurs possibles des paramètres.

Paramètres non prévisibles : on ne peut pas connaitre leurs valeurs[7].

Conclusion

L'adaptation d'un système à son environnement réside dans la possibilité de de réagir face aux variations que peut subir cet environnement. La commande adaptative est une commande dont le but est de réagir à tout instant dans le sens désiré (en générale minimisation de l'erreur entre la consigne et la sortie) face aux variations que subit le système.

On peut aussi utiliser des algorithmes d'adaptation paramétrique du type moindres carrées récursifs simples ou étendue pour comparer les performances avec celui du gradient, ou si ce dernier présente des performances insuffisantes.

Chapitre II

Commande adaptative à modèle de référence

Introduction

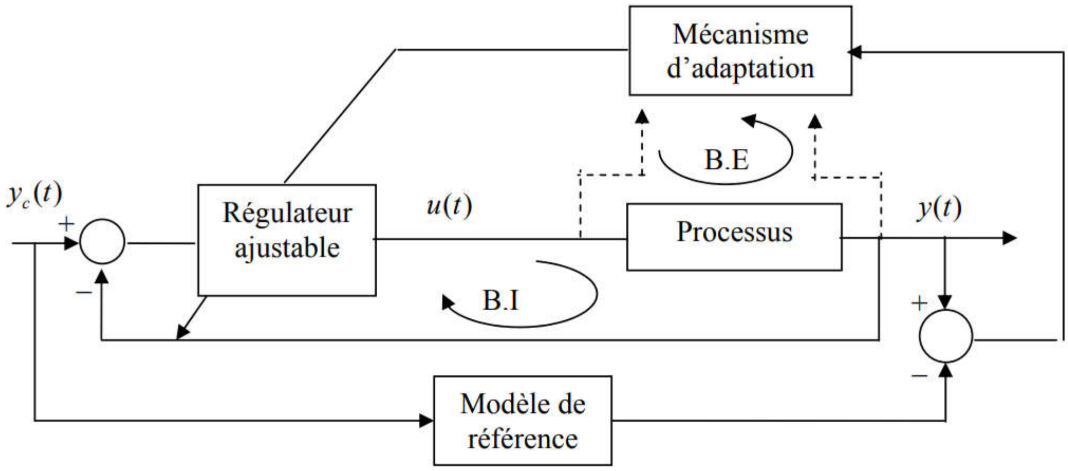
Nous allons présenter, dans ce chapitre, le principe d'une méthode de la synthèse des lois de commande lorsque les paramètres du système ne sont pas connus. Cette technique porte le nom de commande adaptative directe à modèle de référence, puis on va présenter les deux algorithmes utilisés pour l'ajustement des paramètres du régulateur : la règle de MIT et l'approche de Lyapunov.

II.1. Principe générale :

La commande adaptative directe à modèle de référence est l'une des approches de commande adaptative les plus utilisées dont laquelle les performances désirées sont spécifiées dans un modèle qui peut être imposé en boucle fermée en utilisant un correcteur. Dans ce cas, on parle d'un modèle de référence. Ce modèle donne une indication sur comment la sortie du système doit idéalement répondre à un signal de commande.

Cette technique consiste à estimer et ajuster directement les paramètres du régulateur en fonction de l'erreur entre le procédé et le modèle de référence. Ses principes de base sont les suivants :

1. La sortie du système doit suivre la trajectoire de référence.
2. L'erreur de poursuite $e(t) = y(t) - y_m(t)$ représente une déviation de la sortie de système par rapport à la sortie de modèle de référence.
3. Le système en boucle fermée est basé sur une loi de commande par feedback.
4. La commande comporte un contrôleur et un mécanisme d'ajustement.
5. Le mécanisme d'ajustement génère des paramètres estimés du contrôleur.
6. La synthèse du contrôleur comporte la conception de la loi de commande et le mécanisme d'adaptation[6].



FiguII.1: Schéma d'une commande adaptative à modèle de référence.

La différence entre la sortie du procédé et la sortie du modèle de référence est une mesure de la différence entre la performance réelle et la performance désirée. Cette information est utilisée par le mécanisme d'adaptation qui reçoit aussi d'autres informations (entrée de commande et la sortie du procédé) pour ajuster automatiquement les paramètres du régulateur.

II.2. Principe d'adaptation des paramètres :

Soit le système réel décrit par la relation suivant :

$$\dot{x}_0 = A_0(t)x_0 + B_0(t)u \tag{II.1}$$

Système à paramètres variables.

II.2.1Modèle de référence :

On choisit le modèle de référence (performances désirées) de la forme suivant :

$$\dot{x}_m = A_m x_m + B_m u \tag{II.2}$$

De même ordre que le système réel.

$$\Delta x(t) = x_m - x_0 \tag{II.3}$$

$$\Delta\dot{x}(t) = \dot{x}_m - \dot{x}_0 = A_m x_m + B_m u - (A_0 x_0 + B_0 u) \tag{II.4}$$

On ajoute les termes $\pm A_m x_0$

$$\Delta\dot{x}(t) = A_m \Delta x(t) + (A_m - A_0)x_0 + (B_m - B_0)u \tag{II.5}$$

Objectif:

$$\Delta x(t) \to 0 \qquad \Rightarrow \Delta\dot{x}(t) \to 0 \tag{II.6}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} A_m - A_0 \to 0 (A_0 \to A_m) \\ B_m - B_0 \to 0 (B_0 \to B_m) \end{cases} \tag{II.7}$$

A_0etB_0 contient les paramètres du régulateur. Donc, elles sont toujours ajustables. Pour la synthèse des algorithmes il existe plusieurs méthodes ; parmi eux on trouve[4]**:**

- méthode de Gardian

- Méthode de Lyapunov

II.3. Méthode de gradian

Ces méthodes consistent en une recherche rapide pour minimiser la fonction erreur entre le système à commander et le modèle de référence.

L'exemple connu pour cette approche est appelé en littérature la règle du MIT qui utilise une intégrale pour le carré de l'erreur de sortie[9].

soit $e=y_m-y$

$$J(e) = J(y_M - y) \tag{II.8}$$

$$\frac{d\theta}{dt} = -\gamma \frac{dJ}{d\theta} = -\gamma \frac{\partial J}{\partial e}\frac{\partial e}{\partial \theta} \tag{II.9}$$

Avec

$$\frac{\partial e}{\partial \theta} = \frac{\partial (y_M - y)}{\partial \theta} \tag{II.10}$$

sachant que $\frac{\partial Y_M}{\partial \theta} = 0$ Alors $\frac{\partial e}{\partial \theta} = -\frac{\partial y}{\partial \theta}$

Dans le cas mono variable

$$y(s) = G(s)R(s) \tag{II.11}$$

G(s) la fonction de transfert en Boucle fermée

$$\frac{\partial e}{\partial \theta} = -\frac{\partial G}{\partial \theta}R(s) \tag{II.12}$$

$$\frac{d\theta}{dt} = -\gamma \frac{dJ}{d\theta} = \gamma \frac{\partial J}{\partial e}\frac{\partial G}{\partial \theta}R(s) \tag{II.13}$$

$$\frac{d\theta}{dt} = \gamma \frac{\partial J}{\partial e}\frac{\partial G}{\partial \theta}R(s) \tag{II.14}$$

soit la relation $J(\theta) = \frac{1}{2}e^2$

l'objectif est de chercher θ qui minimise(tend vers zérro)

Il est raisonnable de changer les paramètres dans la direction du gradient négatif de *J*

$$\frac{d\theta}{dt} = -\gamma \frac{dJ}{d\theta} = -\gamma e \frac{\partial e}{\partial \theta} \tag{II.15}$$

$\frac{\partial e}{\partial \theta}$ Appelé dérivée sensitive du système est référée comme la règle du MIT.

γest une quantité positive indiquant le gain d'adaptation du contrôleur.

le choix de la fonction de perte J est arbitraire, si on choisit par exemple

$$J(\theta) = |e| \quad \text{(II.16)}$$

la règle d'ajustement devient

$$\frac{d\theta}{dt} = -\gamma \frac{\partial e}{\partial \theta} sign\ e \quad \text{(II.17)}$$

on peut aussi décrire une autre loi d'adaptation appelé "the sign-signalgorithm"

$$\frac{d\theta}{dt} = -\gamma sign(\frac{\partial e}{\partial \theta}) sign\ e \quad \text{(II.18)}$$

La version du cas discret de cet algorithme est utilisée en télécommunication, ou une simple implémentation et un programme d'exécution rapide sont demandés.

Cas générale

$$J(e) = J(yM - y) \quad \text{(II.19)}$$

$$\frac{d\theta}{dt} = -\gamma \frac{dJ}{d\theta} = -\gamma \frac{\partial J}{\partial e} \frac{\partial e}{\partial \theta} \quad \text{(II.20)}$$

Avec

$$\frac{\partial e}{\partial \theta} = \frac{\partial (y - ym)}{\partial \theta} \quad \text{(II.21)}$$

Sachant que $\frac{\partial ym}{\partial \theta} = 0$ Alors $\frac{\partial e}{\partial \theta} = -\frac{\partial y}{\partial \theta}$

Dans le cas mono variable

$$y(s) = G(s) y_r(s) \quad \text{(II.22)}$$

G(s) la fonction de transfert en Boucle fermée

$$\frac{\partial e}{\partial \theta} = \frac{\partial G}{\partial \theta} y_r(s) \quad \text{(II.23)}$$

$$\frac{d\theta}{dt} = -\gamma \frac{dJ}{d\theta} = \gamma \frac{\partial J}{\partial e} \frac{\partial G}{\partial \theta} y_r(s) \quad \text{(II.24)}$$

Exemple

$$\frac{y(s)}{u} = kG(s) \quad \text{(II.25)}$$

$$\frac{y_m(s)}{r} = k_0 G(s) \quad \text{(II.26)}$$

$u = \theta r$

$e=y-y_m$

$$e= kG(s)\theta r - k_0 G(s)r = (k\theta - k_0)G(s)r \tag{II.27}$$

$$\frac{\partial e}{\partial \theta} = \frac{\partial y}{\partial \theta} = kG(s)r = \frac{k}{k_0} y_m \tag{II.28}$$

la règle de MIT est:

$$\frac{d\theta}{dt} = -\gamma \frac{dJ}{d\theta} = -\gamma \frac{\partial J}{\partial e}\frac{\partial e}{\partial \theta} = -\gamma \frac{\partial J}{\partial e}\frac{k}{k_0} y_m \tag{II.29}$$

Si $J(\theta) = \frac{1}{2}e^2$

$k=k_0$

$$\frac{\mathrm{d}\theta}{\mathrm{dt}} = -\gamma \mathrm{e} \mathrm{y}_\mathrm{m} \tag{II.30}$$

Le schéma bloc est alors

Cette règle MIT fonctionnera bien si le gain d'adaptation γ est faible. La grandeur permise de γ dépendra alors de l'amplitude du signal de référence et du gain du procédé. Parconséquent, il n'est pas possible de donner des limites fixées qui peuvent garantir la stabilité, donc la règle MIT peut donner un système instable en boucle fermée. Une loi d'ajustement modifiée utilisant la théorie de stabilité peut alors être introduite[6].

II.4. Synthèse de MRAC par approche de Lyapunov

Dans cette approche nous allons essayer de trouver des lois d'ajustements de telle sorte que la convergence de l'erreur vers zéro soit garantie.

Lyapunov a introduit sa méthode directe pour étudier la stabilité d'une solution à une équation différentielle non linéaire. La philosophie de base de cette méthode est l'extension d'une observation physique fondamentale : si l'énergie totale d'un système Mécanique (ou électrique) est continuellement dissipée, alors le système convergera vers un état d'équilibre. Donc, on peut conclure la stabilité d'un système donné par simple examen d'une certaine fonction scalaire[6].

Soit l'équation différentielle

$$x = f(x,t)f(0,t) = 0 \tag{II.31}$$

Où x est le vecteur d'état de dimension n. Le point d'équilibre est supposé être l'origine.

Soit la fonction $V: \mathfrak{R}^{n+1} \rightarrow \mathfrak{R}$satisfaisant les conditions :

1. 1.$V(0,t) = 0 \forall_t \in \mathfrak{R}$.

2. V est différentiable en x et en t
3. V est définie positive, c'est à dire,$V(x,t) \geq g(x) > 0$ où g : $\Re \rightarrow \Re$ est une fonction Continue et croissante avec $\lim_{x\to\infty} g(x) = \infty$

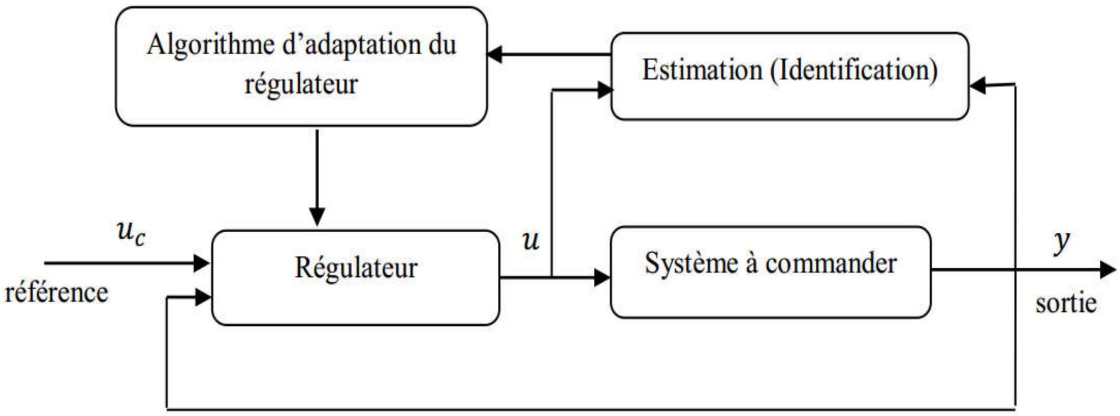
Une condition suffisante pour la stabilité asymptotique uniforme du système :

$V(x,t) = f^T(x,t)\text{grad}V + \frac{\partial V}{\partial t} < 0$ pour $x \neq 0$

Ce qui veut dire que $V(x,t)$est définie négative.

II.5. Commande adaptative à régulateur auto-ajustable

La commande adaptative à régulateur auto-ajustable fait partie des commandes adaptatives indirectes ; fondamentalement, la commande self tuning consiste d'une façon ou d'une autre à ajuster les paramètres du régulateur en fonction des paramètres du modèle du système à commander. C'est une commande par calculateur qui consiste à réaliser à chaque période d'échantillonnage une estimation des paramètres du système et un calcul des paramètres du régulateur. Le principe de base de cette stratégie de commande est décrit par la figure II.2.[10]



FigII.2. Principe de base de la commande Self Tuning

Pour construire une commande Self Tuning, il faut choisir à priori:

•Comment réaliser l'identification (algorithme d'identification)

•Comment calculer la commande (algorithme de commande)

On suppose qu'on dispose d'un modèle de synthèse pour le système, ce modèle est de la forme:

$$G(z^{-1}) = z^{-k}\frac{B(z^{-1})}{A(z^{-1})} \quad \text{(II.32)}$$

z−1 est l'opérateur de retard : z−1(t) = y(t– 1)

k est le retard entrée-sortie.

De plus on a un modèle pour le régulateur:

$$G_c(z^{-1}) = \frac{E(z^{-1})}{F(z^{-1})} \tag{II.33}$$

Sachant que$(z-1) = a0 + a1z-1 + a2z-2 + \cdots + anz-na$

L'identification consiste à déterminer à partir des signaux prélevés sur le système, les paramètres désirés, ceci nécessite un algorithme d'identification récursif efficace.

Le calcul du régulateur consiste à déterminer le signal de commande à partir des données d'entrées /sorties, il faut alors un algorithme de commande.

L'identification est généralement réalisée par l'algorithme des moindres carrées récursif. En revanche, plusieurs algorithmes ont été proposés pour le calcul de la loi de commande en mode self tuning, parmi lesquels [10]:

•Loi de commande à variance minimale

•Loi de commande à variance minimale généralisée

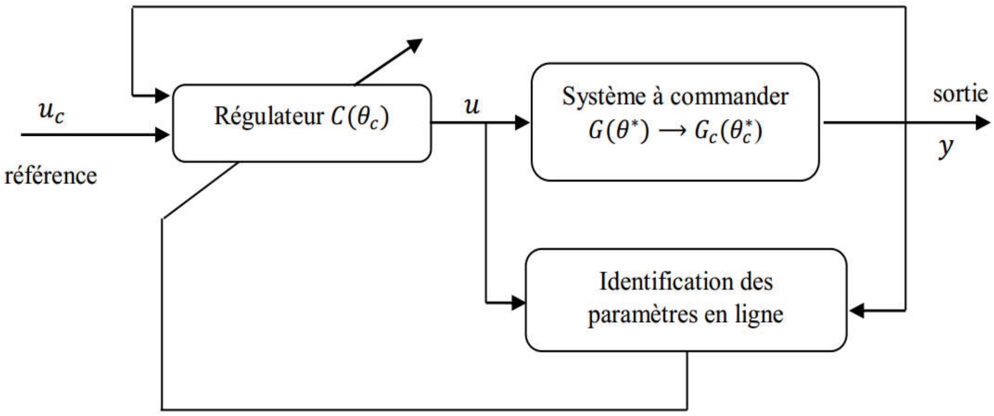
•Loi de commande par placement de pôles

•Loi de commande par PID

La façon dont l'estimateur de paramètres est combiné avec la loi de commande donne lieu à deux approches différentes :

- Approche Directe (Implicite)

Le système d'identification est paramétré en fonction des paramètres du régulateur souhaité, qui sont estimés directement (sans calcul intermédiaire impliquant des estimations des paramètres du système dynamique). Le principe de fonctionnement de cette approche est illustré comme suit[10]:



FigII.2. Principe de base de la commande Self Tuning

A chaque instant t (période d'échantillonnage), le système estimé est formé et traité comme s'il était le véritable système à commander (à partir duquel on fait le calcul des paramètres du régulateur). Son principe de fonctionnement est illustré à la figure.

Conclusion

Les deux méthodes peuvent être appliquées sur n'importe quel type de système. En augmentant le gain d'adaptation, le système s'adapte plus rapidement ; de cette façon, la stabilité du système est conservée. L'étude actuelle, qu'a été réalisée sur les deux Applications de contrôle adaptative, révèle que la méthode de lyapunov est meilleure que la méthode du gradient.

Chapitre III
Résultats et Simulation

Introduction

Un système ou un processus réel peut être modélisé par une simulation informatique. Ce dernier a une ou plusieurs entrées, ainsi qu'une ou plusieurs sorties. Avant de mettre en œuvre une commande d'un système du monde réel, des tests de simulation sont nécessaires pour déterminer les limites de la loi de commande et éviter d'endommager le système physique.

Dans ce chapitre, nous allons présenter des simulations de contrôle adaptatif avec un modèle de référence direct pour contrôler un système linéaire du premier ordre en utilisant la règle MIT. Cette approche repose sur la minimisation d'un critère de performance par rapport aux paramètres du régulateur.

III.1. Principe de travail

La première étape du calcul du MRAC consiste à créer un « modèle de référence », qui est une fonction de transfert (FT) qui représente les résultats souhaités dans une boucle fermée. La différence entre la sortie y du processus et la sortie y_m du modèle de référence est une mesure de la différence entre les performances mesurées (réelles) et souhaitées. Cette information est utilisée par le mécanisme d'adaptation MIT, qui génère une estimation de paramètre pour le contrôleur P et étudie l'influence du gain d'adaptation y du contrôleur sur le comportement du système.

III.2. Les Données requises pour le travail

On considère un modèle de référence représenté par la fonction de transfert :

$$\frac{y_m(s)}{r} == k_0 G(s) \quad \text{(III.1)}$$

$$\mathrm{G(s)} = \frac{1}{s+1} \quad \text{(III.2)}$$

➲ Les performances désirées :

Le temps de repense $t = 3s$

k_0c'est le gain : $k_0 = 1$

r :La consigne est une échelon unitaire .

➲ Le système Pour être modifié a un gain k variable donné par la fonction de transfert suivant :

$$\frac{y(s)}{u} = kG(s) \quad \text{(III.3)}$$

$$G(s) = \frac{k}{s+1} \quad \text{(III.4)}$$

u: c'est le signal de commande donné en fonction de paramètre du contrôleur

$$u = \theta r \quad \text{(III.5)}$$

Estimation de paramètre du contrôleur par la règle d'adaptation du MIT :

- Soit ***e*** l'erreur entre la sortie du système et celle du modèle.
- On considère la fonction coût suivante : $J(\square) = \frac{1}{2}e^2$.
- ***P***: représente le vecteur des paramètres du contrôleur à adapter.
- Pour minimiser *J*, il est logique de faire varier les paramètres dans la direction négative du gradient de *J* :

$$\frac{d\theta}{dt} = -\gamma\frac{dJ}{d\theta} = -\gamma e\frac{\partial J}{\partial e}\frac{\partial e}{\partial \theta} \quad \text{(III.6)}$$

- Le terme $\frac{\partial e}{\partial \theta}$ est crucial et appelé 'dérivée de sensibilité.

L'erreur donné par :

$$e = y - y_m \quad \text{(III.7)}$$

$$e = kG(s)\theta r - k_0G(s)r = (k\theta - k_0)G(s)r \quad \text{(III.8)}$$

$$\frac{\partial e}{\partial \theta} = \frac{\partial y}{\partial \theta} = kG(s)r = \frac{k}{k_0}y_m \quad \text{(III.9)}$$

la règle de MIT est:

$$\frac{d\theta}{dt} = -\gamma\frac{dJ}{d\theta} = -\gamma\frac{\partial J}{\partial e}\frac{\partial e}{\partial \theta} = -\gamma\frac{\partial J}{\partial e}\frac{k}{k_0}y_m \quad \text{(III.10)}$$

$k = k_0$

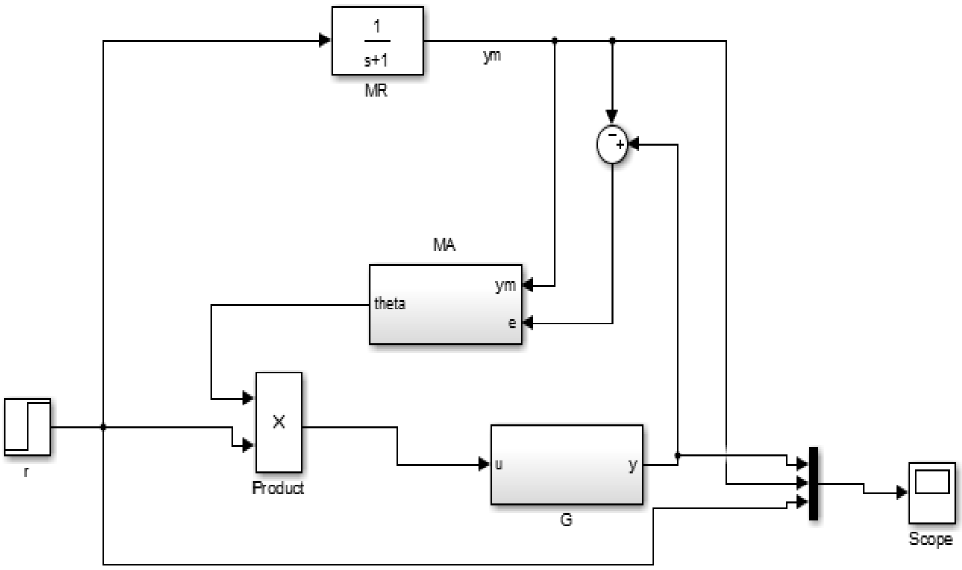
$y = y_m$

$$\frac{d\theta}{dt} = -\gamma e y_m \tag{III.11}$$

Donc le Paramètre de contrôleur :$\theta = -\gamma e y_m$

III.3. Application et résultats de Simulations :

Ces essais consistent à étudier le comportement de la commande adaptative à modèle de référence appliquée sur un système de premier ordre avec la règle du MIT, la simulation est présentée dans fig.III.1 ci-dessous :



FigIII.1 : Diagramme Simulink du modèle de référence adaptatif Contrôleur avec règle MIT.

On considère l'asservissement pour une consigne échelon $r = 1$

Le gain de système variant dans le Temps (sec) illustré dans [la figure III.2] on a choisi un signal :y (0) =0.2, y (∞) =1.

Pour Afin d'obtenir la meilleure réponse de système en fonction de temps (sec) et d'étudier l'effet de gain d'adaptation sur
Le comportement de ce système.

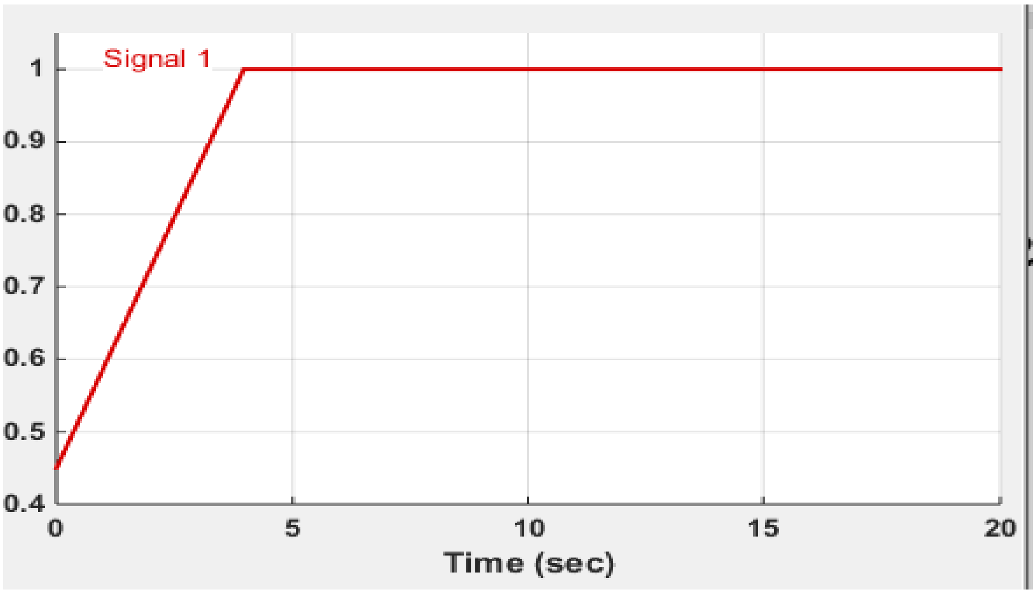
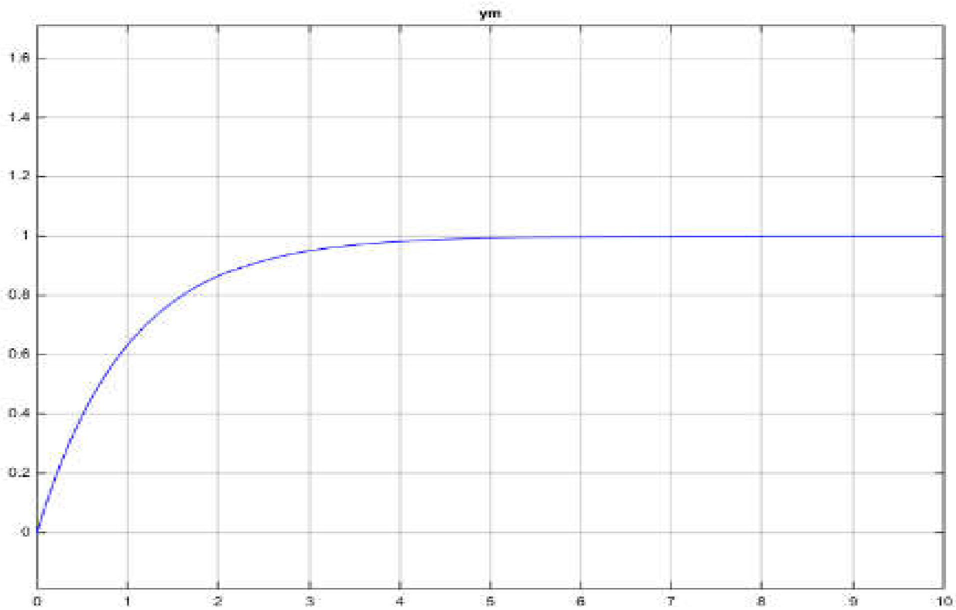
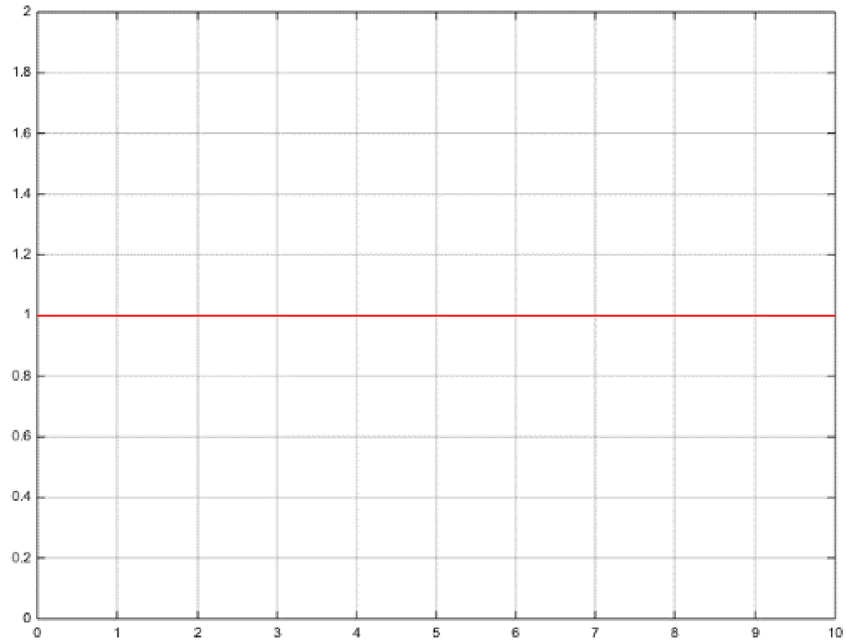


Fig III.2: signal de gain.



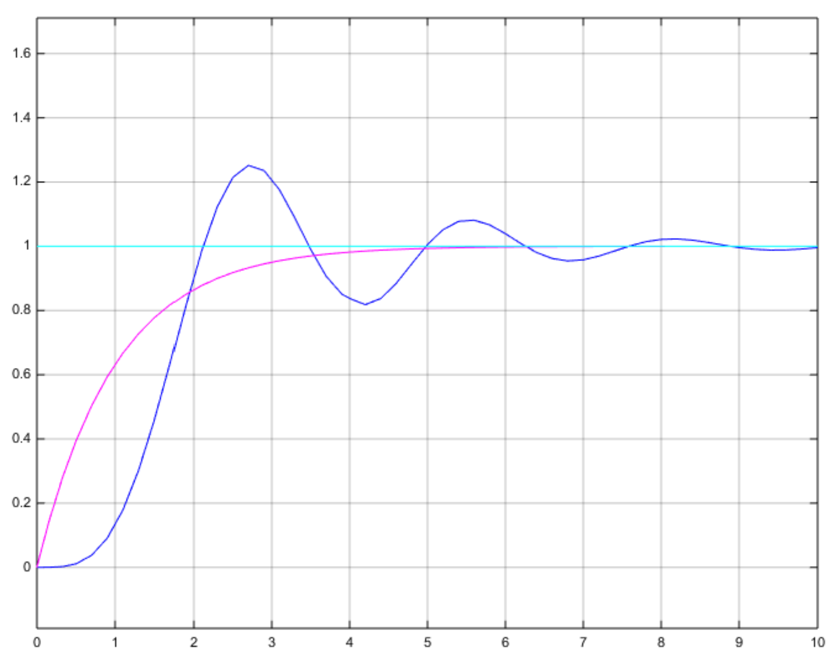
FigIII.3 : sortie de modèle



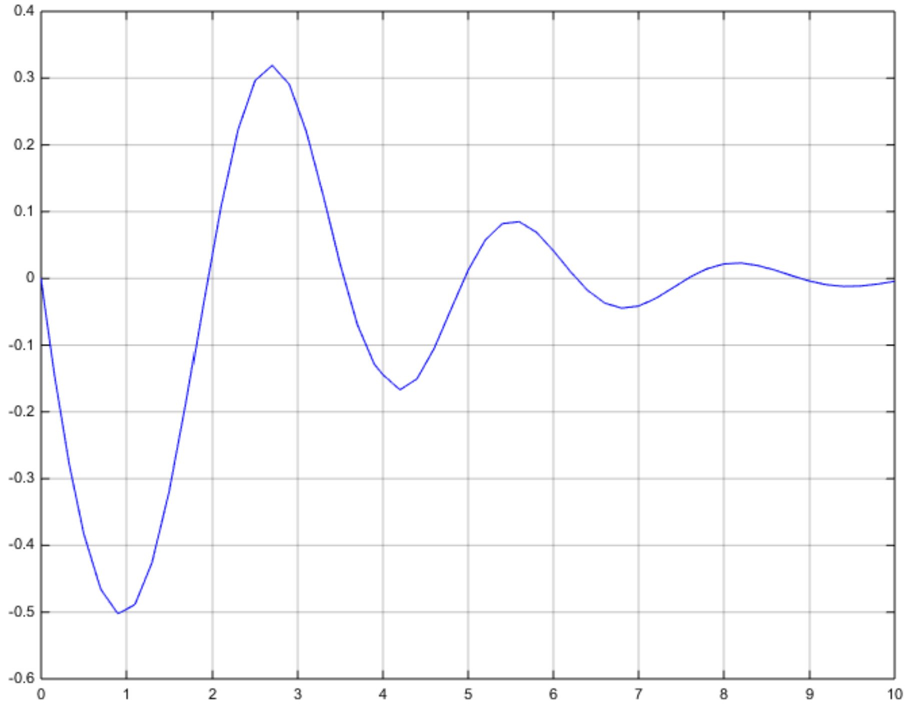
FigIII.4 : la consigne à appliquer

Résultats de simulation :

On re-simule le système pour3 valeurs de gain d'adaptation **:**



FigIII.5:laréponse de systéme



figIII.6:l'erreur entre le système et le modèle.

❶ on a choisi le gain d'adaptation $\gamma = 6$.

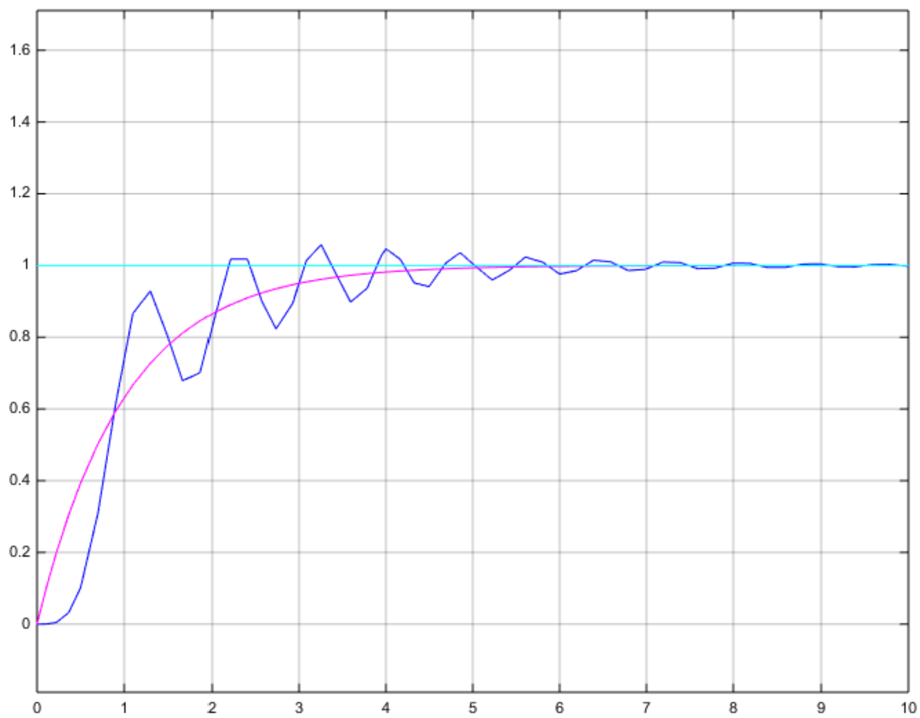


Fig.III.7:réponse de système

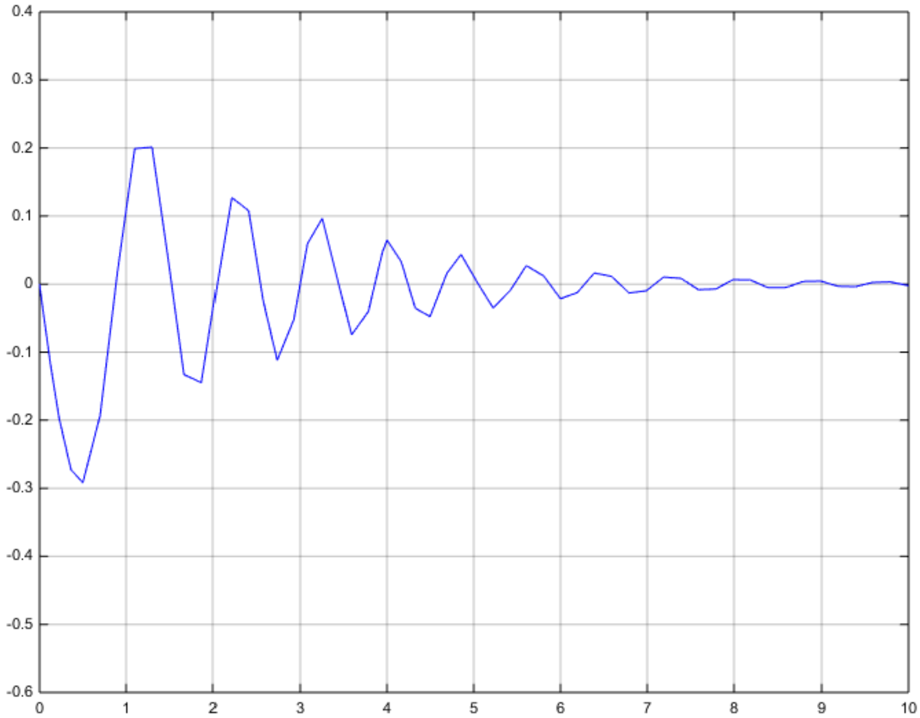


Fig.III.8:erreur entre le système et le modèle.

❷ Dans ce cas on a choisi le gain d'daptation $\gamma = 60$

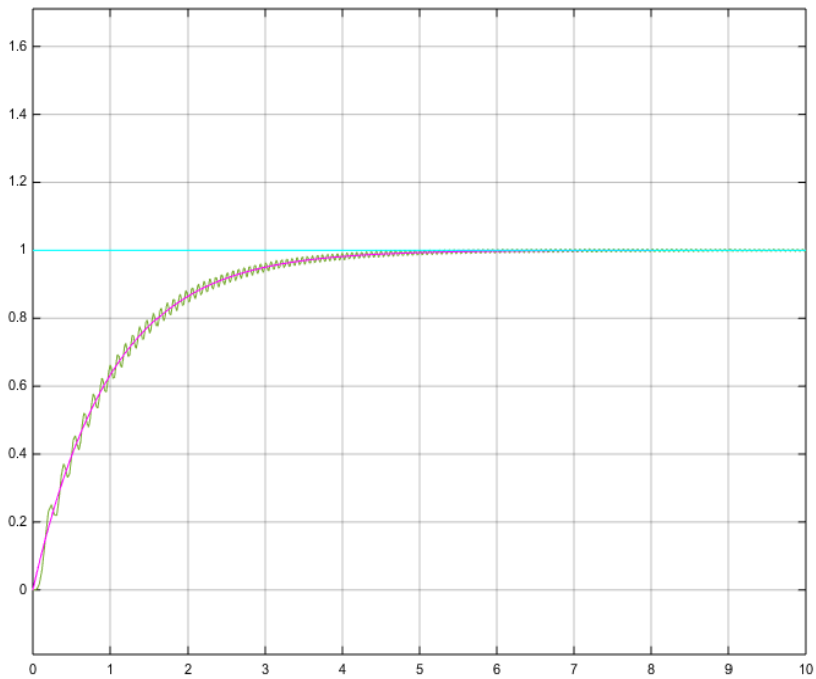
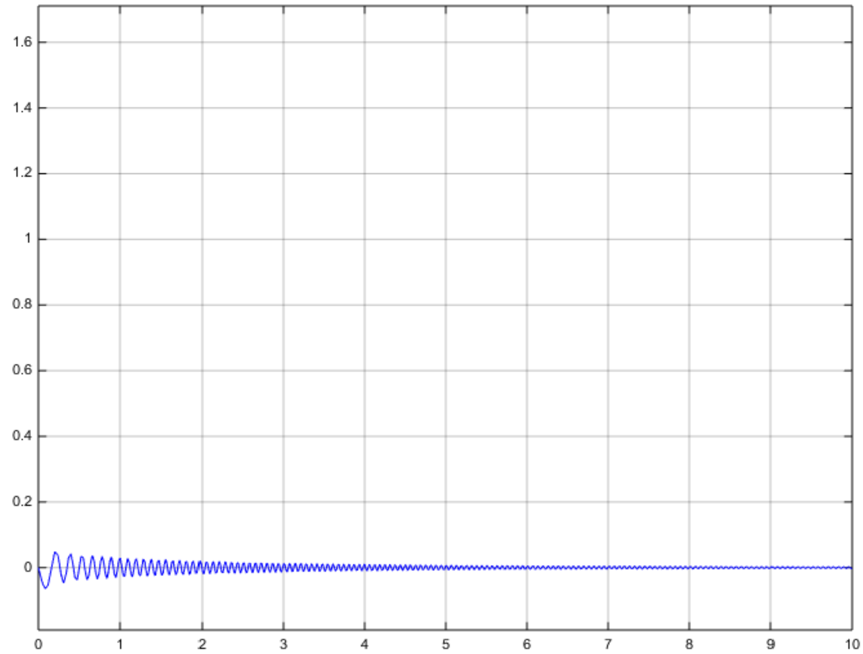
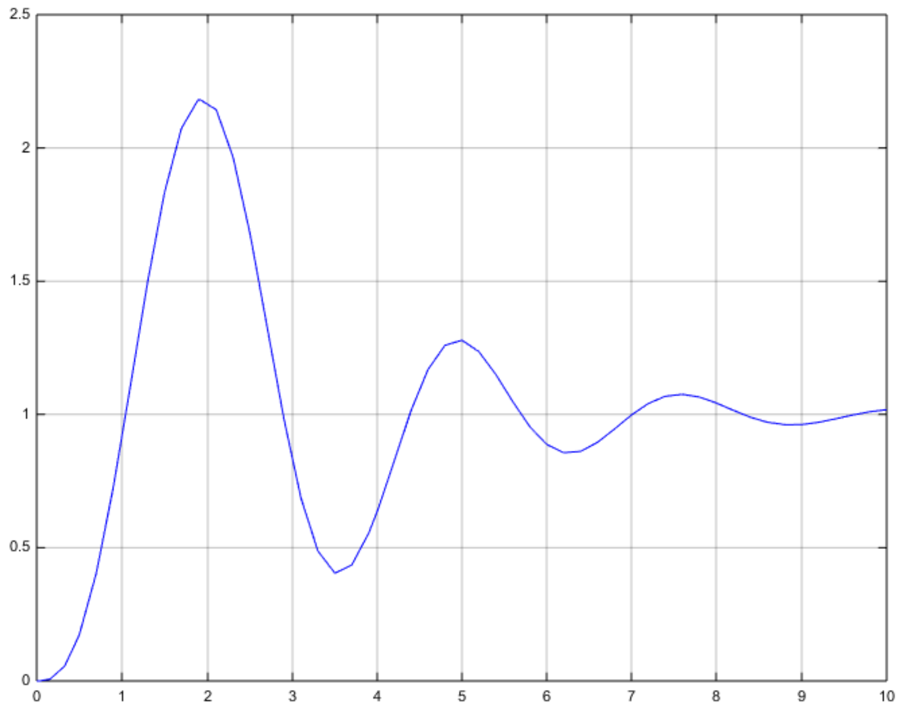


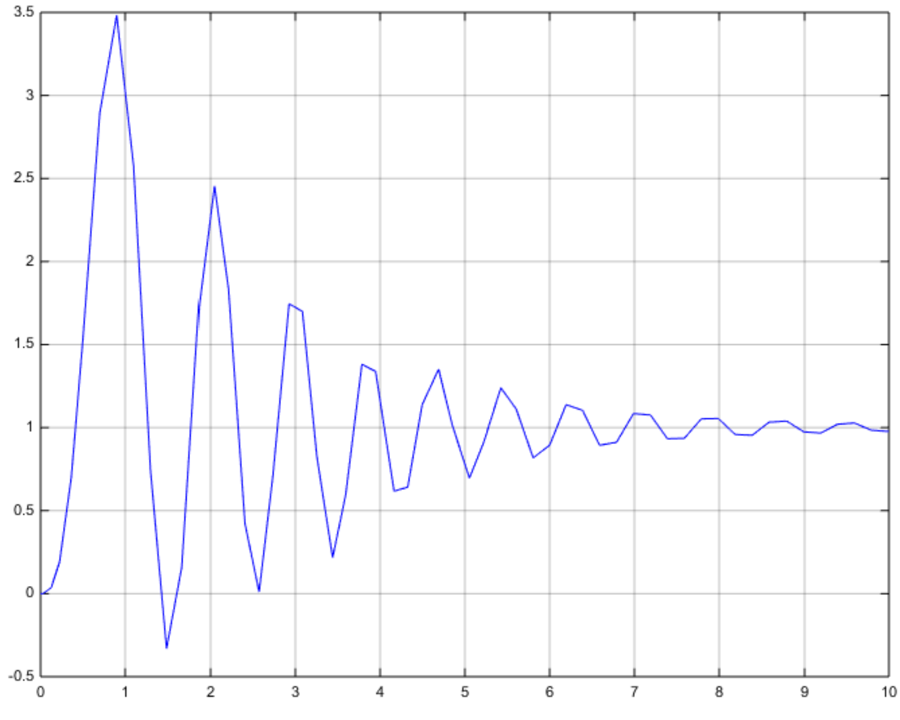
Fig.III.9:réponse de systéme



.Fig.III.10:erreure entrele modèle et le système.

❸ Dans ce cas on a choisi le gain d'adaptation $\gamma = 10000$.





$\gamma = 6\gamma = 60$

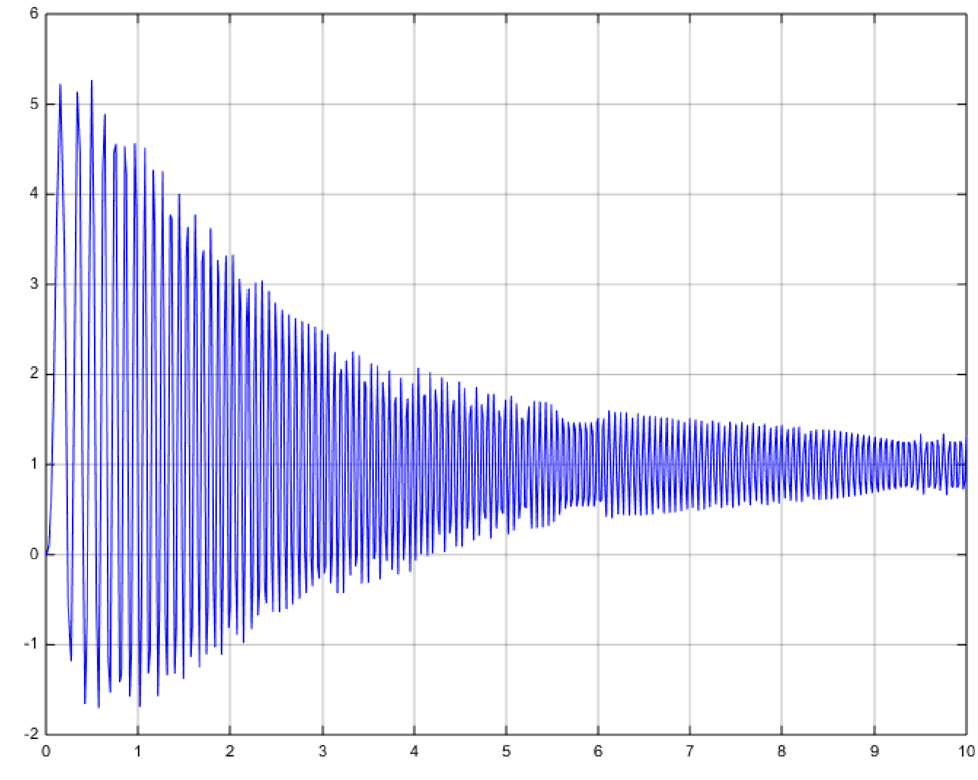


Fig.III.11: Les signaux de commande en fonction de temps (sec) dans les trois cas.

$\gamma = 10000$

Interprétation des résultats :

D'après les résultats obtenus, on voit que :

[La FigIII.5] représente les sorties du système et du modèle de

Référence et la cosigne en fonction de temps (sec), le gin d'adaptation est faible on remarque que le système ne suive pas le modèle, Il y a une erreur entre eux[Fig.III.6] donc L'effet du $\gamma = 6$ n'est pas bon , le signal de commande [figIII.11] n'est pas valide, C'est pourquoi nous avons essayé d'augmenter$\gamma = 60$[Fig.III.7]on remarque une Bone amélioration de la réponse de système Où suivre la référence donc le gain d'adaptation γ est plus efficaceque le premier, et l'erreur est Diminué et au fil du temps devient zéro[Fig.III.8],le signal de commande [FigIII.11],

Dans le troisième cas, nous avons augmenté plus de $\gamma = 10000$[Fig.III.9]représente les sorties du système et du modèle de référence, le suivi parfait est visible en régime permanent, la commande correspondante est donnée en [figIII.11], l'erreur presque zéro[fig.III.10], dans ce cas on peut voir Le système s'applique à la référence et c'est l'objectif.

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons utilisé une CAMR adaptative directe au système de commande du premier ordre.

Nous avons constaté que le comportement dynamique du processus est déterminé par le modèle de réflexion, et que les paramètres du correcteur sont ajustés par la boucle externe afin de minimiser l'erreur de sortie du processus – modèle, et que le gain d'adaptation est responsable de cette régulation. Cette simulation démontre l'importance de la synthèse de contrôle adaptatif.

Conclusion générale

Conclusion général

Les variations paramétriques d' un processus réel dans le temps suivant les Changements de l'environnement influes la régulation du système bouclé avec des contrôleurs a paramètres fixe. Dans ces conditions, il faut trouver un régulateur Qu'il est le pouvoir de l'adaptation devant ces variations, parmi ces régulateurs on Trouve les régulateurs adaptatifs qui sont bases essentiellement sur l'identification en Ligne des paramètres du procède. Ces techniques d'estimation sont connues depuis les Années soixante. Elles permettent d'obtenir un modelé mathématique qui représente le plus fidèlement possible le comportement dynamique d'un processus.

En général, dans ce mémoire on a étudié les techniques de commande adaptative

La commande adaptative apporte une solution à la commande des systèmes à paramètres variables ou inconnus. Le premier chapitre est considéré comme une introduction à la commande adaptative d'une façon générale.

Le deuxième chapitre traite d'une explication des relations de commande adaptative. Les principaux points traités par ce chapitre sont : La commande adaptative à modèle de référence, l'approche du gradient et règle MIT.

Le troisième chapitre est consacré à l'application par la simulation de MRAC à partir de Gradient (MIT) sur un système de première ordre a une gain variable, On a trouvé que La sortie du système suit la trajectoire de référence à travers le variation de Gain d' adaptation γ *et* on a étudié l'influence de ce coefficient sur la sortie de système .

La commande adaptative à modèle de référence présente des avantages remarquables et garantit de bonne performance, alors il est intéressant de l'appliquer pour d'autre système automatique.

Référence

Références :

[1]:Dr. H. MerabetBoulouiha, Notes De Cours : Techniques De Commande AvancéeAnnée : 2014/2015.

[2]: Généralités sur la Commande Adaptative, Université Mohammed SeddikBenyahia– JIJEL, 2016.

[3]:Achour Abdel Yazid, Techniques de Commande avancée, Destiné aux étudiants de Master 2, Université A.MIRA-BEJAIA, 2018.

[4]:Mr. Chelihi,cours : La commande adaptative,Master Auto.

[5] : ZOUTAT Boualem, CHEMACHE Ferhat, Commande Avancée Appliquée à la MSAP Utilisée en Robotique à Deux Degrés de Liberté, Université Abderrahmane Mira de Béjaia, 2016/2017.

[6]: Dihia BENALI, Imane BAKEL, Commande adaptative floue d'un système non-linéaire (Application : pendule inversé).UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU, 14/07/2015.

[7]:Hocine Lazouzi, FouchalRazikaCommande adaptative des systèmes à paramètres localisées : application à la régulation insuline-glucose, Mémoire de Fin d'Etudede MASTER ACADEMIQUE, 4 juillet 2018.

[8]:A. El Jai. Éléments D'analyse et de Contrôle des Systèmes. Presses Universitaires de Perpignan, Perpignan, 2008.

[9]:RAHOUA Naima,Commande Adaptative à Modèle de Référence d'une Machine Synchrone Triphasée Alimentée par un Onduleur de Tension, Université de Biskra, 2003/2004.

[10] :R. Lozano et D. Taoutaou, « Commande adaptative et applications ». Paris : Hermès, Science Publications, 2001.

Résumé

La commande adaptative est un ensemble des techniques permettant de fournir une approche systématique pour l'ajustement automatique d'un régulateur en temps réel, apporte une solution à la commande des systèmes à paramètres variables ou inconnus.

Dans ce mémoire, on présente au premier lieu une introduction sur les techniques de ce type de commande.

Le premier objectif de ce mémoire est de faire une explication sur la théorie de la commande adaptative des systèmes linéaires, le deuxième objectif est de faire une application sur un système pour avoir l'effet de la commande adaptative.

Abstract

Adaptive control is a set of techniques to provide a systematic approach for the automatic adjustment of a controller in real time, provides a solution to the control of systems with variable or unknown parameters.

In this thesis, we first present an introduction to the techniques of this type of control.

The first objective of this memory is to make an explanation on the theory of the adaptive control of the linear systems; the second objective is to make an application on a system to have the effect of the adaptive control.

ملخص

التحكم التكيفي عبارة عن مجموعة من التقنيات لتوفير نهج منظم للضبط التلقائي لوحدة التحكم في الوقت الفعلي، ويوفر حلاً للتحكم في الأنظمة ذات المعلمات المتغيرة أو غير المعروفة.

في هذه الأطروحة، نقدم أولاً مقدمة لتقنيات هذا النوع من التحكم.

الهدف الأول لهذه المذكرة هو تقديم تفسير لنظرية التحكم التكيفي للأنظمة الخطية، والهدف الثاني هو عمل تطبيق على نظام ليكون له تأثير التحكم التكيفي.