

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

BADJI MOKHTAR- ANNABA UNIVERSITY
UNIVERSITE BADJI MOKHTAR ANNABA



جامعة باجي مختار - عنابة

Année : 2019

Faculté: Sciences de l'Ingénierat
Département: Electronique

MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de : MASTER

Intitulé :
Commande robuste d'un prototype d'un canal ouvert d'irrigation

Domaine : Sciences et Technologie

Filière : électronique

Spécialité : Instrumentation

Par :
Louiza Hayette

DEVANT Le JURY

Président :	MANSOURI.Khaled	PR	UBM Annaba
Directeur de mémoire :	YAHMEDI.Said	PR	UBM Annaba
Examineurs:	KHERFANE.A.Hmid	MCA	UBM Annaba
	BEKAIK.Mounir	MCA	UBM Annaba

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier tout d'abord الله, seigneur de l'univers, pour la volonté, la santé, qui nous a donnée durant toutes ces longues années. A lui toute louange.

Je tiens ainsi, à exprimer ici tout mon respect et toute ma reconnaissance à mon encadreur Monsieur : YAHMEDI Saïd Professeur en Automatique pour sa bienveillance, sa gentillesse, ses encouragements et ses conseils.

Je remercie vivement les membres du jury pour avoir accepté d'évaluer ce modeste mémoire : Monsieur MANSOURI Khaled d'avoir accepté de juger mon travail et de présider le jury. Messieurs BEKAÏK Mounir et KKERFANE A.Hamid Pour m'avoir fait l'honneur d'accepter de juger mon travail.

Je tiens également à remercier, tous les professeurs du département d'électronique qui ont contribué à notre formation.

En fin, je tiens à remercier tous ceux qui ont contribué à ce travail de près ou de loin.

DÉDICACES

Je dédie ce modeste travail à :

Ce qui sont les plus chers au monde, mes parents Rabah et zohra, auxquels je n'arriverai jamais à exprimer ma gratitude et ma reconnaissance, pour leur amour, leur soutien tout au long de mes études.

A mes frères et ma sœur.

A toute ma famille.

A mes amis de classe : Hanane, Loubna, Asma, samra, hafsa, Azzedine, Abdou, Alla, Mehdi, Zaki, Zaki, Azou, Hichem, Med. AMINE, madani.....

A ma chère ami : Sabrina, Zahra, Lilia, khaoula

A tous qui se donnent à fond à la recherche scientifique.

Louiza

Résumé

Dans ce résumé, on va parler en général sur ce que nous allons faire dans cette thèse de fin d'études.

Notre these se consiste 2 grandes parties qui tournent sur la commande robuste d'un système multivariable, ces 2partie sont :

- Commande robuste des systèmes multivariables
- Commande robuste des canaux d'irrigation.

Le premier chapitre traitera essentiellement de rappels sur les notions sur les systèmes multivariables en boucle fermée .On définira les différents signaux et matrices de transfert pour la description des systèmes .Ensuite, on rappellera les différents types d'incertitudes.

Enfin, on abordera la question de la robustesse avec les conditions de robustesse sur la stabilité et sur les performances ainsi que les spécifications à définir pour l'Etude de la robustesse.

Le deuxième chapitre fait l'objet de l'application de la synthèse des commandes robuste par méthode des gains principaux sur le procédé multivariables, décrivant un canal d'irrigation .On commencera par faire une analyse comportement de processus.

Ensuite on entamera la synthèse de contrôleurs robustes. Le contrôleur obtenu sera appliqué sur le régime perturbé afin de comparer les résultats avec ceux des modèles normales et juger sur leur robustesse.

Summary

In this summary, we will talk in general about what we will do in this thesis.

Our thesis consists of two large parts that turn on the robust control of a multivariable system, these two parts are:

- Robust control of multivariable systems
- Robust control of the irrigation channels.

The first chapter will deal essentially with reminders on notions on closed-loop multivariable systems. We will define the different signals and transfer matrices for the description of systems. Next, we will recall the different types of uncertainties.

Finally, we will address the issue of robustness with robustness conditions on stability and performance as well as the specifications to be defined for the study of robustness.

The second chapter is the subject of the application of the robust command synthesis by method of the main gains on the multivariable method, describing an irrigation channel. We will start by doing a process behavior analysis.

Then we will begin the synthesis of robust controllers. The obtained controller will be applied on the disturbed regime in order to compare the results with those of the normal models and to judge on their robustness.

ملخص

في هذا الملخص، سنتحدث بشكل عام عما سنفعله في هذه الاطروحة.

تتكون أطروحتنا من جزأين كبيرين يعملان على التحكم القوي في نظام متعدد المتغيرات، هذان الجزءان هما:

- مراقبة قوية من أنظمة متعددة المتغيرات

- التحكم القوي في قنوات الري.

سيتناول الفصل الأول بشكل أساسي تذكيرات المفاهيم حول الأنظمة متعددة الحلقات المغلقة، وسنعمل على تحديد الإشارات المختلفة ومصفوفات النقل لوصف الأنظمة، وبعد ذلك، سوف نذكر الأنواع المختلفة من أوجه عدم اليقين.

أخيراً، سنتناول مسألة المتانة بشروط الصلابة على الاستقرار والأداء بالإضافة إلى المواصفات التي سيتم تحديدها لدراسة المتانة.

الفصل الثاني هو موضوع تطبيق توليفة الأوامر القوية من خلال المكاسب الرئيسية على طريقة متعددة المتغيرات، ووصف قناة الري، وسوف نبدأ بإجراء تحليل سلوك العملية.

ثم سنبدأ توليف وحدات تحكم قوية. سيتم تطبيق وحدة التحكم التي تم الحصول عليها على النظام المضطرب من أجل مقارنة النتائج بنتائج النماذج العادية والحكم على متانتها.

TABLE DES NOTATIONS

\mathbf{S}	Variable de Laplace
\mathbf{I}	Matrice Identité
\mathbf{A}^T	Transposée de la matrice A
\mathbf{A}^*	Transposée conjuguée de la matrice A
\mathbf{A}^{-1}	Inverse de la matrice A
$\lambda_{max}(\mathbf{G}(s))$	Valeur propre maximale d'une matrice de transfert G(s)
$\lambda_{min}(\mathbf{G}(s))$	Valeur propre minimale d'une matrice de transfert G(s)
$\bar{\sigma}(\mathbf{G}(s))$	Valeur singulière maximale d'une matrice de transfert G(s)
$\underline{\sigma}(\mathbf{G}(s))$	Valeur singulière minimale d'une matrice de transfert G(s)
$\ \mathbf{G}(s)\ _{\infty}$	Norme H_{∞} d'une matrice de transfert G(s)

TABLE DE FIGURE

Chapitre 1 : Commande robuste des systèmes multivariables

Figure (1.1) : Configuration des systèmes multivariables.....	5
Figure (1.2) : Perturbation additive.....	10
Figure (1.3) : Perturbation multiplicative en entrée	11
Figure (1.4) : Perturbations multiplicatives à la sortie.....	11

Chapitre 2 : contrôle robuste des canaux d'irrigation

Fig (2.1) : Représentation schématique équivalent de la piscine principale du canal d'irrigation	22
Fig (2.2) : la valeur singulière de l'incertitude multiplicative $\Delta m(s)$	25
Fig (2.3) : système multivariable en boucle fermée avec incertitude multiplicative en sortie..	26
Fig (2.4) : incertitudes et spécification sur la stabilité (multivariable).....	27
Fig (2.5) : la valeur singulière maximale de $w_p(s)$	29
Fig (2.6) : la valeur singulière maximale de $w_t(s)$	29
Fig (2.7) : les conditions de robustesse sur la stabilité et les performances.....	31
Fig (2.8) : les conditions de robustesse st gains principaux.....	33
Fig (2.9) : la spécification sur les performances et la sensibilité	33
Fig (2.10) : la spécification sur la stabilité et le transfert.....	34

Sommaire

Introduction générale	1
Chapitre 1 : Commande robuste des systèmes multivariables	
1.1 Introduction	4
1.2 Configuration du système multivariable	5
1.3 modèles considérés.....	7
1.3.1 Modèle nominal.....	7
1.3.2 Classe de modèles	8
1.4 Incertitudes	9
1.4.1 Incertitudes structurées.....	9
1.4.2 Incertitudes non structurées	10
– Incertitudes additive.....	10
– Incertitudes multiplicatives en entrée.....	11
– Incertitudes multiplicatives à la sortie.....	11
1.5 Valeurs singulières.....	12
1.6 Les Conditions de robustesse	12
1.6.1 Définition de la robustesse.....	12
1.6.2 Condition de robustesse sur la stabilité.....	13
1.6.3 Condition de robustesse sur les performances	14
1.7 Conclusion.....	16

Chapitre 2 : contrôle robuste des canaux d'irrigation

2-1-Introduction	18
2-2- présentation de l'application	19
2.3- le cas multi variable (2entrée- 2sortie)	22
2.3.1- Evaluation de l'incertitude paramétrique multiplicative.....	22
2.3.2- les conditions de robustesses	25
2.3.2.1-spcification sur stabilité $w_t(s)$	26
2.3.2.1-spcification surperformance $w_p(s)$	28
2.3.3- méthode des gains principaux.....	31
2.4- conclusion.....	35
Conclusion générales	36

Références bibliographie

Introduction Générale

La théorie de la commande robuste des systèmes linéaires a connu un essor remarquable durant ces dernières années [1]. La plupart des techniques de commande des systèmes linéaires sont basées sur la connaissance précise du modèle mathématique. Cependant, ceci n'est pas toujours possible car on est confronté à des imprécisions dues à : [2]

- ✓ La structure de modèle est toujours une simplification de la réalité
- ✓ Les paramètres du modèle sont entachés d'erreurs de mesure ou d'estimation
- ✓ Les paramètres peuvent varier avec le temps
- ✓ Si le modèle est la représentation linéarisée d'un système non-linéaire, le changement des conditions de fonctionnement modifie les valeurs des paramètres.

Donc, puisqu'il est impossible de décrire précisément le comportement d'un procédé, l'idée de base est qu'il serait plus fructueux de considérer son modèle comme l'association d'un modèle nominal auquel on attache des incertitudes (structurées ou non structurées). Dans ce cas, la problématique de commande doit être abordée de façon à assurer la robustesse vis-à-vis de ces incertitudes [4].

Les méthodes classiques comme PI, PID de la commande robuste ont prouvé leur efficacité dans de nombreux problèmes de régulation ou de poursuite pour les systèmes linéaires mais lorsque le système est entaché à : des incertitudes, des perturbations ou des exigences sur les performances, dans ce cas, la commande robuste classique devient insuffisante pour répondre aux performances exigées.

Il existe un grand nombre de méthodes de synthèse de commande robustes. On s'intéressera à la technique de synthèse par la H_∞ : trouver un contrôleur d'assurer la stabilité et satisfaire des performances, sous la condition de minimiser la norme H_∞ du transfert en boucle fermée.

Dans le cadre de notre travail, on s'intéressera particulièrement à la commande robuste car elle présente une solution plus performante aux problèmes cités auparavant.

Donc, la théorie de la commande est initiée par Zames au début des années 80 et développée entre autres par Doyle, Glover, Khargoneker et Francis (DGKF) [5].

Introduction Générale

Elle est aujourd'hui, un axe de recherche prédominant notamment parmi les techniques dites 'Robuste'.

Les années quatre-vingt ont été marquées par l'émergence de la notion de robustesse. Elle fût à ses débuts une notion très mathématique avant d'évoluer vers la synthèse et l'analyse de loi de commande.

D'une manière générale, la robustesse d'une commande peut être définie comme une qualité qui décrit l'invariance ou la résistance du comportement d'un système asservi à un certain nombre de phénomènes interne ou externe.

Donc, Le défi majeur de notre travail de recherche est de concevoir une loi de commande robuste, le rejet de perturbations, la stabilité, et la robustesse vis-à-vis des incertitudes paramétriques.

La technologie moderne des systèmes d'entraînement exige de plus en plus un contrôle précis et continu de la vitesse, du couple et de la position, tout en garantissant la stabilité, la rapidité et le rendement le plus élevé possible.

CHAPITRE 1 :

COMMANDE ROBUSTE DES SYSTÈMES MULTIVARIABLES

Chapitre 1 : Commande robuste des systèmes multivariables

1.1- Introduction :

La commande robuste est un type de commande qui vise à garantir les performances et la stabilité d'un système face à des perturbations du milieu et les incertitudes du modèle. En effet, le modèle mathématique qui modélise un système réel est une représentation qui vise à approximer au mieux, avec des hypothèses simplificatrices, le système qu'on veut commander.

Il existe donc un écart entre le comportement observé du système réel et son modèle interne.

La commande robuste vise à déterminer une loi de commande qui soit capable de garantir des critères de performances et stabilité pour un système dont le modèle varie autour du modèle théorique ou nominal.

Le principal objectif d'un correcteur est de garantir aux systèmes multivariables la stabilité en boucle fermée. Ceci dit, les exigences de plus en plus fortes de l'Industrie font qu'il est devenu également important de garantir de bonnes performances, donc d'avoir un fonctionnement optimal. Les principaux correcteurs classiques ne peuvent faire faces à ce genre problèmes.

L'utilisation de techniques de synthèse de contrôleurs garantissant une « robustesse » est une caractéristique non négligeable. Les commandes devront assurer la stabilité d'une gamme de modèles, défini par le modèle de synthèse (appelé aussi modèle nominal) et par les incertitudes entre les différents modèles considérés.

La stabilité assurée, il faut aussi veiller à satisfaire un fonctionnement optimal, c'est-à-dire, offrir les meilleures performances possibles pour le procédé en boucle fermée. On rappelle que les contraintes rencontrées lors de la synthèse des contrôleurs robustes sont :

- La synthèse s'effectue sur le modèle nominal du système, mais il est essentiel de garantir la stabilité de tous les régimes.
- Satisfaire le compromis « Stabilité / Performances » pour un fonctionnement optimal.

Chapitre 1 : Commande robuste des systèmes multivariables

Propriétés d'un système commande :

Stabilité : la grandeur de sortie doit converger vers une valeur finie si le signal d'entrée est aussi limité.

Précision : l'erreur entre la mesure et la valeur désirée doit être la plus petite possible.

Rapidité : il doit répondre rapidement à une excitation.

1.2- Configuration des systèmes multivariables :

On présente la configuration de base des systèmes multivariables bouclés, ainsi que les rappels sur les matrices de transfert. La configuration des systèmes multivariables en boucle fermée avec perturbations est illustrée sur la figure ci-dessous (figure 1.1).

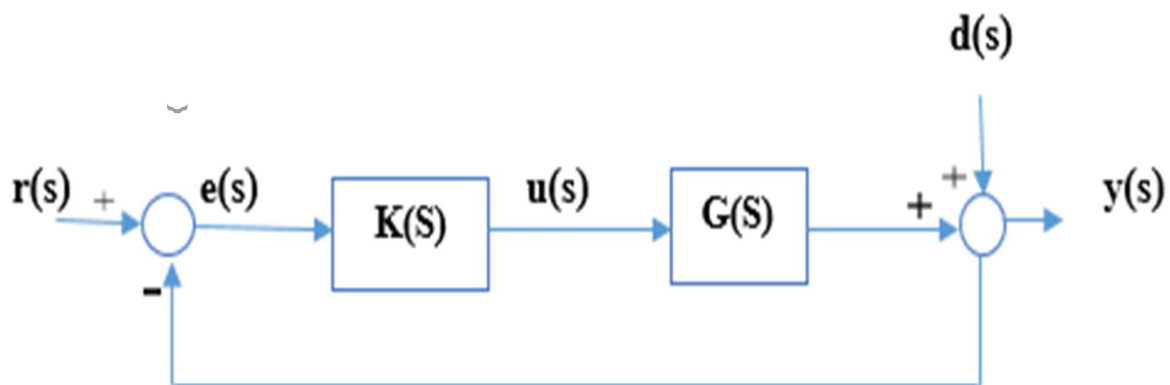


Figure 1.1 : Configuration des systèmes multivariables

Avec :

$r(s)$: entrées (références)

$u(s)$: commandes

$e(s)$: erreurs

$d(s)$: perturbations

$y(s)$: sorties

Chapitre 1 : Commande robuste des systèmes multivariables

Le but de toute commande $u(s)$ obtenue à partir d'un contrôleur $K(s)$ est d'essayer de toujours avoir un signal d'erreurs $e(s)$ le plus faible possible (nul dans le cas idéal).

Au préalable, on présente les différents signaux avec leurs expressions.

Le signal de sorties du procédé en boucle fermée :

$$y(s) = G(s)u(s) + d(s) \quad (1.1)$$

Le signal de commandes $u(s)$ se met sous la forme :

$$u(s) = K(s)e(s) \quad (1.2)$$

Le signal d'erreurs $e(s)$ est déduit à partir de l'expression :

$$e(s) = r(s) - y(s) \quad (1.3)$$

En remplaçant le signal d'erreurs $e(s)$ par l'expression (1.3), les commandes $u(s)$ deviennent :

$$u(s) = k(s)(r(s) - y(s)) \quad (1.4)$$

On substitue le signal de commandes $u(s)$ par l'expression (1.4), le signal de sorties sera :

$$y(s) = G(s)k(s)(r(s) - y(s)) + d(s) \quad (1.5)$$

Après simplification de l'expression du signal de sorties $y(s)$, on aboutit à

$$y(s) = (I + G(s)k(s))^{-1} G(s)k(s)r(s) + (I + G(s)k(s))^{-1}d(s). \quad (1.6)$$

On définit les matrices de transfert suivantes :

– Boucle ouverte $L(s) = G(s)k(s) \quad (1.7)$

– Sensibilité : $S(s) = (I + L(s))^{-1} \quad (1.8)$

– Sensibilité complémentaire (Transfert) : $T(s) = L(s)(I + L(s))^{-1} \quad (1.9)$

Chapitre 1 : Commande robuste des systèmes multivariables

– Complémentarité Sensibilité - Transfert : $S(s)+T(s)=I$ (1.10)

– Transfert par rapport à la commande : $R(s)=k(s) (I + L(s))^{-1}$ (1.11)

Dans le cas où le signal des perturbations est nul ($d = 0$)

$$y(s) = (I + G(s)k(s))^{-1} G(s)k(s)r(s) = T(s)r(s) \quad (1.12)$$

$$U(s)=k(s)(R(s)-y(s))=k(s) (I - T(s))r(s) = (K(s)S(s)r(s)=R(s)r(s) \quad (1.13)$$

$$e(s)=r(s)-y(s) = (I - T(s))r(s)S(s)r(s) \quad (1.14)$$

1.3- Modèles considérés :

On désigne par les modèles considérés toute formulation mathématique pour la description des dynamiques des systèmes multivariables. Le procédé possède un modèle, soit par une représentation temporelle (équations d'état) ou par une représentation fréquentielle (matrice de transfert).

En réalité les procédés sont sujets à diverses perturbations, entraînant la variation de leurs dynamiques. On observe alors plusieurs modèles possibles pour la description des systèmes. Ce qui amène à effectuer un choix précis du modèle nominal. Les autres modèles sont fonctions du modèle nominal et des incertitudes entre les modèles.

L'ensemble des modèles tolérés désigne la classe de modèles ou les modèles considérés.

1.3.1- Modèle nominal :

On s'intéresse à la commande de systèmes multivariables dont le fonctionnement est défini une classe de ce modèle. Les modèles sont sous forme de systèmes d'équations différentielles linéaires coefficients constants, représentant le comportement nominal du procédé et un modèle pour les incertitudes.

Le modèle nominal $G(s)$ et le modèle des d'incertitudes $\Delta(s)$ incluent l'ensemble des dynamique possibles du procédé dans le cadre d'un fonctionnement normal.

Chapitre 1 : Commande robuste des systèmes multivariables

Le modèle nominal (ou de référence) admet une réalisation dans l'espace d'état.

Il est possible d'écrire le modèle d'état sous la forme suivante :

$$\begin{aligned} \dot{x} &= Ax + Bu \\ y &= cx + Du \end{aligned} \quad (1.15)$$

Ou :

x : le vecteur d'état

y : vecteur d'observation

A, B, C, D : matrice d'état

Le modèle nominal peut également prendre une représentation fréquentielle, sous la forme d'une matrice de transfert $G(s)$, obtenue par l'expression ci-dessous :

$$G(s) = C(sI + A)^{-1}B + D \quad (1.16)$$

1.3.2 Classe de modèles :

L'ensemble des modèles « nominal – incertitudes » constitue la classe de modèles considérés pour la description du système multivariable.

Après avoir défini le modèle nominal qui servira de référence pour le système multivariable, on cherche à déterminer les incertitudes tolérées.

Les incertitudes sont les écarts entre le comportement nominal du modèle et le comportement réel du procédé.

Les incertitudes sont de deux types :

Chapitre 1 : Commande robuste des systèmes multivariables

les incertitudes définies par une borne supérieure de l'écart de modèles dans le plan fréquentiel, et les incertitudes définies par les variations des paramètres du modèle nominal.

1.4- Incertitudes :

On vient de voir que les modèles utilisés pour la commande robuste se constituent d'un modèle nominal $G(s)$ et d'un modèle pour les incertitudes $\Delta(s)$. Le modèle mis en place traduit les relations existantes entre les commandes et les sorties.

La qualité du modèle dépend du faible écart avec les dynamiques du régime réel.

Les origines de provenances des incertitudes sont multiples : incertitudes sur des paramètres physiques, dynamiques négligées, fonctionnements sous des conditions extrêmes

Les incertitudes sont représentées par deux types : structurées et non structurées [7].

- Les incertitudes structurées sont dues aux variations des paramètres du modèle du système.
- Les incertitudes non structurées ont pour origine le non prise en compte de dynamiques dans la modélisation, ou la linéarisation autour d'un point de fonctionnement.

Nous préciserons dans ce qui suit les différentes formes d'incertitudes des modèles, nous déterminerons pour chaque type la matrice de transfert du modèle perturbé associée.

1.4.1- Incertitudes structurées :

En général, un système possède des incertitudes multiples et localisées. Le problème d'analyse de la stabilité robuste avec ce type d'incertitudes peut alors se ramener à une matrice d'incertitudes sous forme diagonale formée de blocs réels ou complexes, parfois répétés. Les incertitudes structurées concernent les variations paramétriques des dynamiques des procédés et les coefficients des équations différentielles du procédé, elle engendre une forme de structuration dans la matrice des incertitudes $\Delta(s)$ [3].

1.4.2- Incertitudes non structurées :

Les perturbations survenant sur les systèmes peuvent être rassemblées sous forme d'un seul et unique bloc Δ , qui représente les dynamiques en hautes fréquences. Ceci est dû au fait que des dynamiques sont négligées au cours de la modélisation. Cette représentation des incertitudes est dite « non structurée ».

Chapitre 1 : Commande robuste des systèmes multivariables

Dans le cas des systèmes linéaires, le bloc d'incertitudes est symbolisé sous la forme d'une matrice de transfert. On représente cette matrice de transfert en fonction du procédé réel $G_p(s)$ et du modèle nominal $G(s)$.

Les différents types d'incertitudes non structurées sont au nombre de trois : additives, multiplicatives en entrée et multiplicatives à la sortie ([6], [7]).

– Incertitudes additives :

Les formes additives se définissent comme des incertitudes absolues vis à vis du modèle nominal. Elles peuvent se représenter à l'aide du schéma bloc suivant :



Figure 1.2 : Perturbation additive

L'expression des régimes perturbés est :

$$G_p(s) = G_n(s) + \Delta a(s) \quad (1.17)$$

Telles que :

$G_n(s)$: modèle nominal du système.

$G_p(s)$: modèle réel du système.

$\Delta a(s)$: incertitude additive.

– Incertitudes multiplicatives en entrée :

Les formes multiplicatives en entrée se définissent comme les incertitudes relatives vis à vis de l'entrée du modèle nominal. Elles sont représentées par le schéma bloc ci-dessous :

Chapitre 1 : Commande robuste des systèmes multivariables

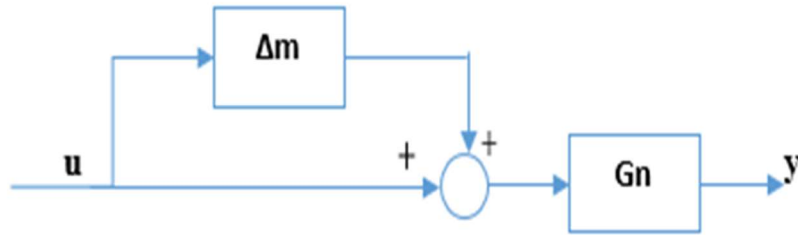


Figure (1.3) : Perturbation multiplicative en entrée

L'expression des régimes perturbés est :

$$G_p(s) = G_n(s) [I + \Delta m(s)] \quad (1.18)$$

Telles que :

$G_n(s)$: modèle nominal du système.

$G_p(s)$: modèle réel du système.

$\Delta m(s)$: incertitude multiplicative.

– Incertitudes multiplicatives à la sortie :

Les formes multiplicatives en sortie se définissent comme les incertitudes relatives vis à vis de la sortie du modèle nominal. Elles peuvent se représenter à l'aide du schéma bloc suivant :

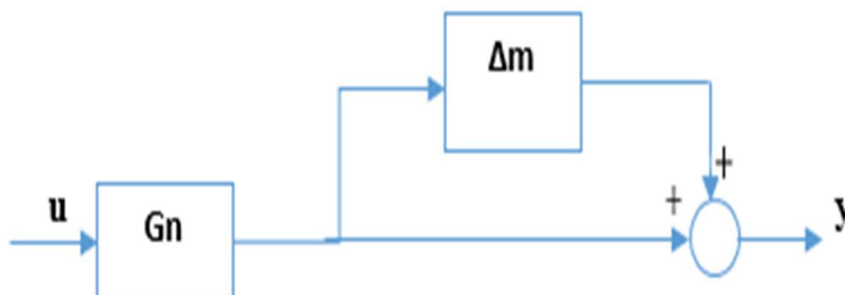


Figure (1.4) : Perturbation multiplicative à la sortie

L'expression des régimes perturbés est :

$$G_p(s) = G_n(s) [I + \Delta m(s)] \quad (1.19)$$

Chapitre 1 : Commande robuste des systèmes multivariables

Telles que :

$G_n(s)$: modèle nominal du système.

$G_p(s)$: modèle réel du système.

$\Delta m(s)$: incertitude multiplicative.

1.5- Valeurs singulières :

Les valeurs singulières quantifient les énergies des sorties, elles mesurent les gains principaux dans le plan fréquentiel [6]. Les gains principaux sont définis par les formules suivantes :

Soit A une matrice de transfert, ses gains principaux maximum et minimum sont données par :

$$\bar{\sigma}(A)_{\|\Delta\|} \triangleq \max_{\|x\|=1} \|Ax\| = \sqrt{\lambda_{\max} A^* * A} \quad (1.20)$$

$$\underline{\sigma}(A)_{\|\Delta\|} \triangleq \min_{\|x\|=1} \|Ax\| = \sqrt{\lambda_{\min} A^* * A} \quad (1.21)$$

1.6- Les Conditions de robustesse :

1.6.1- Définition de la robustesse :

Par commande, nous entendons les techniques qui permettent d'élaborer un ou plusieurs signaux de commande en fonction de consigne et de mesure. On rencontre deux types de problèmes :

La régulation, qui consiste à rendre la ou les sorties du système insensibles par rapport aux perturbations ou une modélisation imparfaite, et l'asservissement, où la sortie doit suivre la consigne.

Nous appellerons synthèse les algorithmes qui permettent d'obtenir des valeurs numériques pour les paramètres du régulateur, même si une part d'intervention humaine est

Chapitre 1 : Commande robuste des systèmes multivariables

nécessaire, par exemple pour modifier une spécification, certains automaticiens réservent ce terme pour un calcul purement mécanique.

Les deux buts essentiels que doit remplir un régulateur sont d'assurer la stabilité et un certain niveau de performances, values selon des critères tels que temps de montée, intégrale de la valeur absolue de l'erreur après une perturbation ou amplification certaines fréquences.

Ils sont le plus souvent contradictoires : la stabilité est d'autant plus facile à garantir que le régulateur impose une dynamique lente.

La synthèse d'une loi de commande se fait généralement sur un modèle nominal simplifié qui ne prend pas en compte toute la complexité du système. Des dynamiques sont négligées, comme celles qui se trouvent en dehors de la bande passante du système asservi ; les valeurs des paramètres du modèle sont considérés égales à leurs valeurs nominales.

D'analyser la robustesse du comportement du système asservi face aux perturbations externes (variation des conditions de fonctionnement, comme la température) ou internes (variation des paramètres) du système.

Le régulateur est robuste s'il garantit le niveau de performances spécifiée même lorsque les systèmes s'écarte du modèle .On parle de commande robuste si les incertitudes sont explicitement prises en compte ; c'est en cela qu'elle se distingue de l'automatique classique, qui assure elle aussi une certaine robustesse évaluée typiquement par les marges de gain et de phase. La robustesse porte aussi bien sur la stabilité que sur les performances.

1.6.2- Condition de robustesse sur la stabilité :

La première question concerne la stabilité. L'analyse de la robustesse en stabilité consiste à établir si le système de mesure est stable malgré les variations attendues des paramètres.

Robustesse en stabilité : analyse de stabilité d'un système soumis à des incertitudes de modèle .Si le système est stable quelles que soient les incertitudes modélisées, il est dit robuste en stabilité à ces incertitudes.

Afin de faciliter l'étude sur la stabilisation des systèmes non linéaires, d'abord, nous

Chapitre 1 : Commande robuste des systèmes multivariables

présentons des notions générales relatives à la stabilité des systèmes.

La synthèse pour l'obtention des contrôleurs s'effectue sur un modèle nominal, qui ne décrit pas toujours le procédé réel avec exactitudes et précisions, d'où l'emploi de notion d'incertitudes

Le but de la commande robuste consiste à ce que la stabilité soit garantie pour tous les modèles considérés

Définition : ([6], [8]) Supposons que le modèle nominal $G_n(s)$ soit stable (avec $\Delta m(s) = 0$), alors le régime perturbé est également stable si et seulement si :

$$T(j\omega) < \frac{1}{\bar{\sigma}[w_t(j\omega)]} \quad \omega \geq 0 \quad (1.22)$$

Telle que :

$w_t(s)$ Est la matrice des spécifications sur la stabilité.

Généralement, le choix de cette matrice est effectué de telle sorte à ce que

$$\bar{\sigma}[\Delta m(s)] \leq \bar{\sigma}[w_t(s)]$$

1.6.3- Condition de Robustesse sur les performances :

Jusqu'ici, nous nous sommes limités à l'étude de la robustesse en stabilité. Nous allons maintenant montrer que la robustesse en performance peut elle aussi être étudiée au moyen d'une analyse de stabilité.

Dans ce but, nous définissons la performance en termes de majoration de normes sur les réponses en fréquences.

Les performances sont définies soit dans le domaine fréquentiel (marges de stabilité, pulsation de coupure, facteur de surtension,.....etc.).

Robustesse en performance : analyse de performances d'un système soumis à des incertitudes de modèle.

Chapitre 1 : Commande robuste des systèmes multivariables

Si le système respecte les spécifications de performance quelles que soient les incertitudes modélisées, il est dit robuste en performance à ces incertitudes.

L'analyse de la robustesse en performance cherche à établir si le système maintient les performances prévues pour les variations attendues des paramètres.

Concrètement, la robustesse sur les performances signifie que les performances désirées sont garanties pour tous les modèles perturbés tenu en compte dans la synthèse.

Le raisonnement pour l'obtention de la robustesse sur les performances est un peu similaire à celui pour la robustesse sur la stabilité, ou l'on utilise une matrice d'incertitudes fictives.

Avoir de bonnes performances passe par minimiser certains signaux. Particulièrement, le signal d'erreurs $e(s)$. sachant que le signal d'erreurs a pour expression, minimiser le signal d'erreurs revient à minimiser la norme de la matrice de sensibilité $S(s)$.

Définition : ([6], [8]) si la robustesse sur la stabilité est respectée, alors le régime perturbé assure les performances désirées si et seulement si :

$$\bar{\sigma}[s(j\omega)] < \frac{1}{\bar{\sigma}[w_p(j\omega)]} \quad \omega \geq 0 \quad (1.23)$$

Cette expression exprime la condition de robustesse sur les performances.

Où :

$w_p(s)$: Désigne la matrice des spécifications sur les performances.

Chapitre 1 : Commande robuste des systèmes multivariables

1.7- Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons rappelé des notions utiles pour la commande multivariable. Nous avons également énoncé les différents types d'incertitudes possibles. Les conditions de Robustesse avec les spécifications sur la stabilité et sur les performances ont été présentées. Toutes ces notions seront utilisées pour la synthèse de contrôleurs robustes par la méthode des gains principaux.

CHAPITRE 2 :

CONTRÔLE ROBUSTE DES CANAUX D'IRRIGATION

Chapitre 2 : contrôle robuste des canaux d'irrigation

2.1- Introduction :

Un canal d'irrigation est un système hydraulique à surface libre, dont l'objectif est principalement de transmettre de l'eau de sa source amont (le barrage, la rivière) à ses utilisateurs finaux aval (des agriculteurs). Des structures en travers (principalement des vannes) sont manœuvrées pour contrôler les niveaux d'eau, des débits et des volumes le long du canal.

Comme cela a été évoqué dans les présentations précédentes, le choix de la régulation d'un canal d'irrigation ne se limite pas au choix des variables à contrôler, ni celui d'un algorithme mathématique. Par exemple, le choix de la logique de contrôle est un choix très important qui a un lien fort avec la méthode de distribution de l'eau (à la demande ou au tour d'eau).

Ce choix est également en relation directe avec le choix des variables de contrôle et des variables à contrôler. Ce choix, à son tour, a un impact important sur les modèles dynamiques sous-jacents et sur leurs caractéristiques (dynamique lente ou rapide, avec ou sans retard, mode oscillants ou non, etc.). Dans cet article nous ne détaillerons pas ces choix ni leurs implications d'un point de vue hydraulique ou automatique.

Il faut faire la synthèse d'un contrôleur qui remplisse le cahier des charges. Pour les modèles, nous distinguerons les modèles de simulation qui sont des modèles les plus complets possibles (réalisables) et qui servent à validation préliminaire, et les modèles pour la commande qui sont des modèles simplifiés directement utilisables pour synthétiser le contrôleur.

Ce découpage peut paraître un peu artificiel dans la mesure où la frontière n'est pas rigoureusement définie, mais il permet de clarifier le propos.

Des méthodologies différentes ont aussi été utilisées pour la conception des contrôleurs.

Les plus anciennes et les plus classiques, après quelques méthodes empiriques, sont les contrôleurs PID. Mais en raison du temps de retard inhérent aux systèmes hydrauliques, du comportement non-linéaire et des interactions entre sous-systèmes.

Les limites des PID sont souvent atteintes. Ce qui justifie que beaucoup d'autres méthodes ont été évaluées et toujours en phase de développement.

Chapitre 2 : contrôle robuste des canaux d'irrigation

Ces méthodes sont listées ci-après. Avec les références essentielles. Pour une plus complète de la littérature.

La plupart des modèles de contrôle d'un canal d'irrigation basées sur la théorie du contrôle utilisent le contrôleur PID multivariable plus connu. Les exemples de méthodes de type PID sont : PAMIL, AVIS, AVIO, PI : ELFLO, BIVAL. Régulation dynamique sogreah PID : UMA ingénierie. Certaines sont ajustées directement sur le processus réel ou sur un modèle complet de simulation non-linéaire.

Puisque, certaines caractéristiques importantes des systèmes considères sont les perturbations inconnues fortes et les erreurs de modèle en partie en raison des effets non-linéaires, des approches de contrôle robuste sont intéressantes et ont été évaluées par plusieurs auteurs.

La technique la plus utilisée est la minimisation H_{∞} . Elle est très bien adaptée à ce type de problème et de nombreux résultats et outils existent. Des travaux ont également été réalisés à partir de la minimisation de la norme L_1 . cette dernière technique présente l'avantage de pouvoir tenir compte de contraintes temporelles, mais conduit à des contrôleurs d'ordre élevé et est encore un peu délicat à mettre en œuvre (bien que des progrès récents aient été faits).

2.2- présentation de l'application :

L'objectif de cet article est de passer en revue, les principales méthodologies utilisée dans le développement de modèles et dans la conception de contrôleur pour des systèmes de type canal d'irrigation. Ces systèmes sont caractérisés par des temps de retard ,du comportement non linéaire ,des perturbations inconnus fortes et des interactions entre sous-systèmes .Bien qu'une grande partie de ces travaux soit toujours à l'étape de recherche ,plus en plus de ces technique ont des mises en œuvre sur le terrain couronnées de succès.

Des contrôleurs modernes abstraits sont basés sur l'utilisation des modèles mathématique.

Cependant les modèles sont toujours obtenus par une réaction de la complexité de la réalité.

En conséquent, il est avantageux d'analyser le problème résultant de l'incertitude modèle dans le contrôle des piscines principale des canaux d'irrigation. Ce problème a été souvent ignoré dans des études théorique et dans à régulation de processus pratique.

Chapitre 2 : contrôle robuste des canaux d'irrigation

Ce document montrera d'abord une méthode de gains de principal sur les façons dont réaliser l'avantage de la rétroaction face aux incertitudes.

Alors Il présentera à irrigation l'exemple principal de piscine de canal qui illustre l'utilisation du control robuste défourné l'outrage de représentation satisfaisante des piscines principale de canal d'irrigation.

Le canal principale d'irrigation considère en ce document est le canal principal impérial D'Aragon (AIMC), qui obtient son eau de l'Ebro River [9] [10].

L'AIMC est un canal croise long de structure de 108 km avec une décharge de 30m/s.de tête de conception .Il a un en coupe trapézoïdal et dix piscines des différentes longueurs qui sont séparées par des portes d'écoulement d'atterrissage trop court.

La représentation de ce canal est donnée dans fig.2.1, où la variable manœuvrée $u(t)$ est la position ascendante de porte, et la production $y(t)$ est le niveau d'eau en a aval d'extrémité. [9]

L'approche moderne standard à régulation du processus consiste en construisant un modèle mathématique du processus et puis utilisant explicitement ce modèle dans le contrôleur.

Cependant, il y a deux problèmes majeurs avec cette approche :

D'abord, le modèle est seulement une représentation simplifiée du processus qui est généralement beaucoup plus complexe ;

En second lieu, les changements de comportement de processus sans interruption

Pour ces deux raisons il y a inévitablement une disparité entre l'usine et le modèle.

De telles incertitudes modèles sont responsables de la dégradation du contrôleur.

Par conséquent, la première étape dans une étude de contrôle robuste est de mesurer ces incertitudes.

Dans ce but, des piscines principales d'un canal d'irrigation est employées, des expériences basées sur la réponse à une entrée comme une étape ont été effectuées à la

Chapitre 2 : contrôle robuste des canaux d'irrigation

premiere piscine afin d'obtenir un modèle mathématique linéaire avec lequel pour décrire son comportement dynamique. [9]

Le cas de l'étude présenté en ce document est au sujet de la premiere piscine du canal principale impérial d'Argon(AIMC) ce de grandes variations d'objets exposés de ses paramètres caractéristiques. [11]

Le comportement dynamique de la premiere piscine peut être représenté par le modèle du second degré avec un retard de temps et en variant les conditions de fonctionnement.

Les modèles pour quatre conditions de fonctionnement différentes des conditions nominaux sont obtenus et leurs incertitudes multiplicatives sont également déterminées.

Dans la prochaine étape un contrôleur robuste avec la méthode de gains est obtenu pour les piscines principales de canal d'irrigation.

Ce document est organisé comme suit .la section 2 présente l'évaluation de l'incertitude paramétrique multiplicative, la section 3 présente les conditions de robustesse (stabilité et performance) section 4 présente la méthode des gains principaux, après on a présenté le domaine temporel et le domaine fréquentiel (sont également développés).Dans cette section, nous comparons la robustesse des contrôleurs.

Enfin, la section 5 reprend les principales conclusions obtenues lors du développement de ce travail.

Chapitre 2 : contrôle robuste des canaux d'irrigation

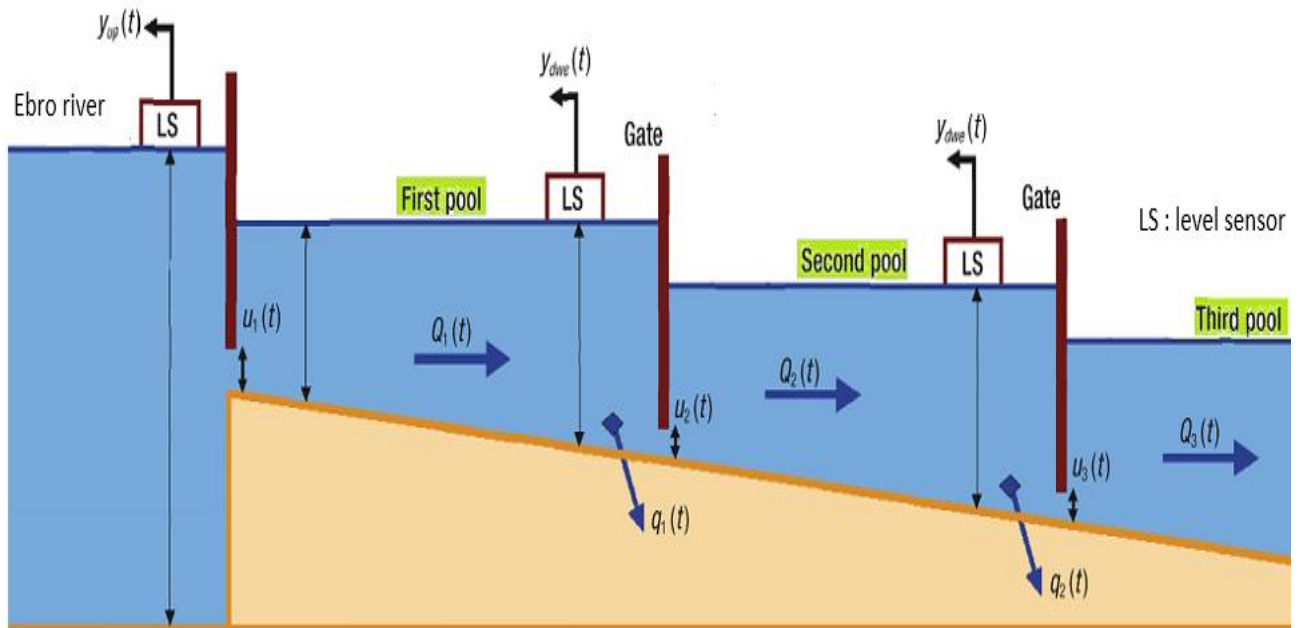


Fig.2.1 : Représentation schématique équivalente de la piscine principale de canal d'irrigation

2.3- le cas multi variable (2entrée- 2sortie)

2.3.1- Evaluation de l'incertitude paramétrique multiplicative :

L'expression de l'incertitude multiplicative des régimes perturbés est :

$$G_n(s) = [I + \Delta m(s)] * G_n^{-1}(s) \quad (1)$$

La valeur singulière $\Delta m(s)$ de la sortie est :

$$\Delta m(s) = [G_p(s) - G_n(s)] * G_n(s)^{-1} \quad (2)$$

G_n : le régime nominal.

G_p : le régime perturbé.

Δm(s) : La valeur singulière.

G_n⁻¹ : L'inverse de régime nominal.

Chapitre 2 : contrôle robuste des canaux d'irrigation

$I: \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$: La matrice d'identité.

La représentation de canal principal d'irrigation est donnée en figure 2.1, où $u_1(t)$ et $u_2(t)$ (Variables manipulées) sont les positions de la porte amont de la première et la deuxième piscine et sortie $y_1(t)$, $y_2(t)$ sont les niveaux d'eau aval. Le modèle de processus dynamique développé avec l'aide des réponses à l'échelon.

La matrice de fonction de transfert du régime nominale des bassins d'irrigation canal principal est donnée par :

$$G_n(s) = \begin{pmatrix} \frac{K_{11}}{(1 + T_{11}s)(1 + T_{21}s)} & \frac{K_{12}}{(1 + T_{12}s)(1 + T_{22}s)} \\ \frac{K_{21}}{(1 + T_{13}s)(1 + T_{23}s)} & \frac{K_{22}}{(1 + T_{14}s)(1 + T_{24}s)} \end{pmatrix}$$

Avec :

$$K_{11}=K_{22}=0.0401 ;$$

$$K_{12}= - 0.0401 ; K_{21}=0.01$$

$$T_{11}=T_{14}=880.79 ;$$

$$T_{12} =1000 ;$$

$$T_{22}=100 ;$$

$$T_{13}=500 ; T_{23}=10 ;$$

$$T_{21}=T_{24}=81.27 ;$$

Les régimes perturbés sont :

Chapitre 2 : contrôle robuste des canaux d'irrigation

$$G_n(s) = \begin{pmatrix} \frac{K_{11}}{(1+T_{11}s)(1+T_{21}s)} e^{-360 s} & \frac{K_{12}}{(1+T_{12}s)(1+T_{22}s)} e^{-360 s} \\ \frac{K_{21}}{(1+T_{13}s)(1+T_{23}s)} e^{-360 s} & \frac{K_{22}}{(1+T_{14}s)(1+T_{24}s)} e^{-360 s} \end{pmatrix}$$

$$G_1(s) = \begin{pmatrix} \frac{0.0401}{(1+1000s)(1+100s)} e^{-360 s} & \frac{-0.0401}{(1+1200s)(1+200s)} e^{-360 s} \\ \frac{0.0401}{(1+600s)(1+20s)} e^{-360 s} & \frac{0.0401}{(1+1000s)(1+200s)} e^{-360 s} \end{pmatrix}$$

$$G_2(s) = \begin{pmatrix} \frac{0.0401}{(1+1300s)(1+300s)} e^{-360 s} & \frac{-0.0401}{(1+1400s)(1+250s)} e^{-360 s} \\ \frac{0.0401}{(1+900s)(1+50s)} e^{-360 s} & \frac{0.0401}{(1+1300s)(1+300s)} e^{-360 s} \end{pmatrix}$$

$$G_3(s) = \begin{pmatrix} \frac{0.0401}{(1+1500s)(1+200s)} e^{-360 s} & \frac{-0.0401}{(1+1300s)(1+150s)} e^{-360 s} \\ \frac{0.01}{(1+400s)(1+40s)} e^{-360 s} & \frac{0.0401}{(1+1500s)(1+200s)} e^{-360 s} \end{pmatrix}$$

$$G_4(s) = \begin{pmatrix} \frac{0.0401}{(1+700s)(1+90s)} e^{-360 s} & \frac{-0.0401}{(1+600s)(1+80s)} e^{-360 s} \\ \frac{0.01}{(1+400s)(1+40s)} e^{-360 s} & \frac{0.01}{(1+700s)(1+90s)} e^{-360 s} \end{pmatrix}$$

Fig (2.2) : montre la valeur singulière de l'incertitude multiplicative :

Chapitre 2 : contrôle robuste des canaux d'irrigation

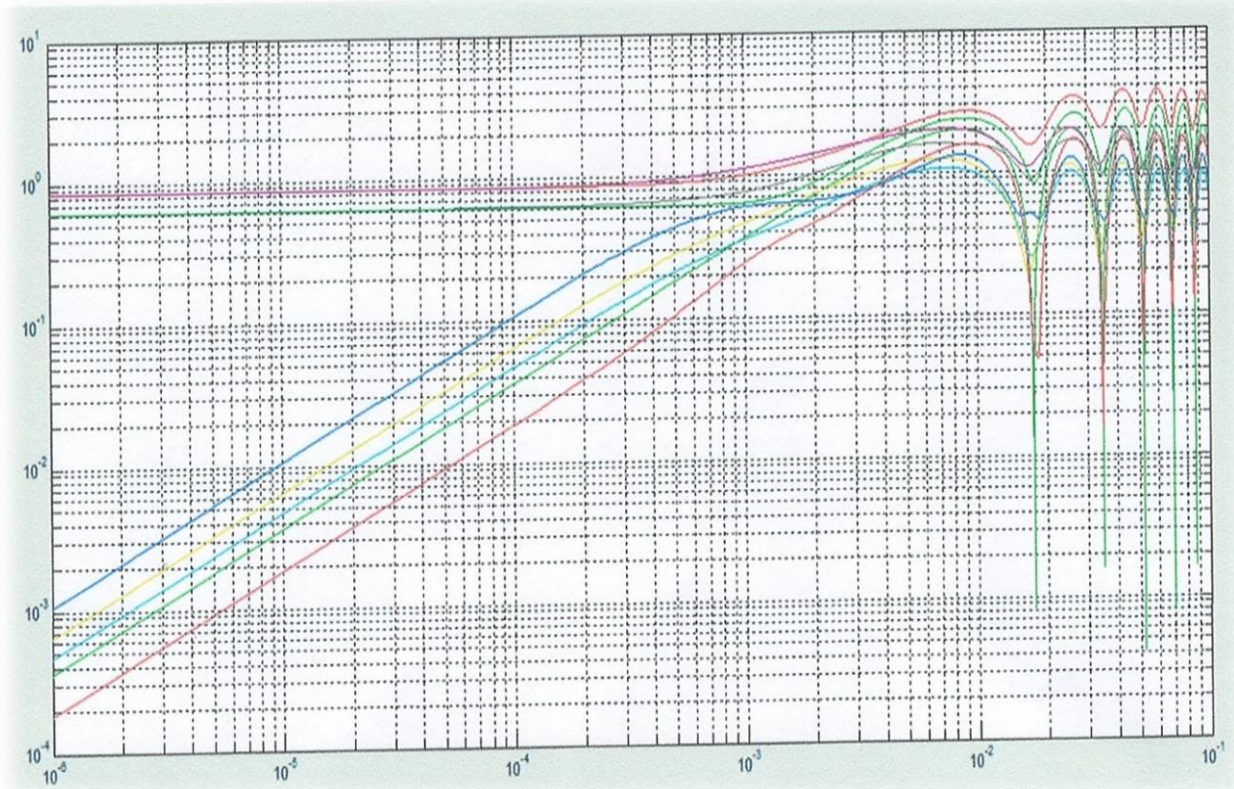


Fig (2.2) : la valeur singulière de l'incertitude multiplicative $\Delta m(s)$

Les bases fréquences : 10^{-9} jusqu'à 10^{-4}

Les hautes fréquences : 10^{-4} jusqu'à 10^0

Nous remarquons que la valeur singulière maximal de les incertitudes multiplicatives on base fréquences sont inférieures à 0 dB, et augmente on haute fréquence à partir de $W = 10^{-4}$ rd/s (Supérieurs à 0 dB).

Ce qui se signifie qu'on effectuer une erreur inferieure a 100% donc on peut appliquer la théorie de la commande robuste.

2.3.2-les conditions de robustesse :

La détermination des spécifications sur la robustesse constitue une étape très important pour la synthèse du contrôleur robuste : en effet, la robustesse du contrôleur sera fixée par les spécifications sur la stabilité et sur les performances.

Chapitre 2 : contrôle robuste des canaux d'irrigation

2.3.2.1-spécification sur stabilité $w_t(s)$:

Dans un premier temps, on quantifie la perturbation multiplicative à la sortie $\Delta m(s)$. Cette perturbation est bornée par la spécification de robustesse sur la stabilité $w_t(s)$.

La figure (2.3) montre la configuration d'un system multivariable bouclé en présence d'incertitudes multiplicatives à la sortie.

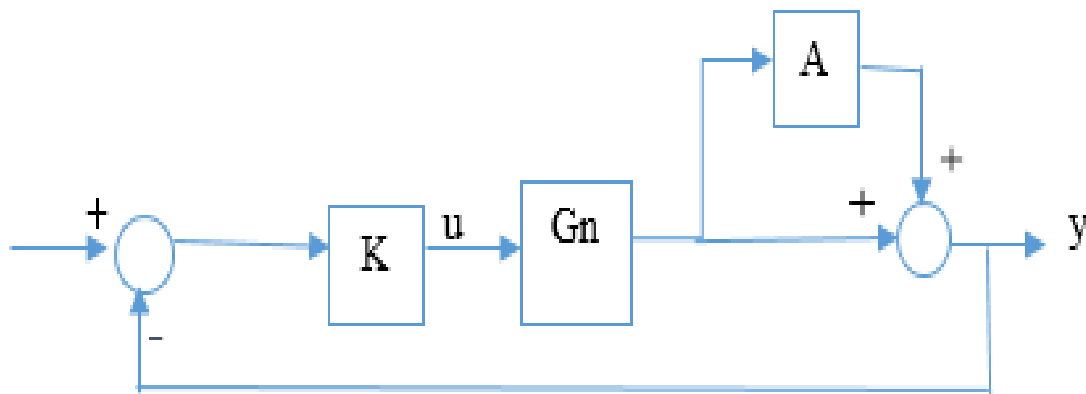


Fig 2.3 : système multivariable en boucle fermée avec incertitude multiplicative en sortie

Le choix de la borne maximale de la spécification sur la stabilité s'effectue en déterminant l'écart entre le modèle nominal et les régimes perturbés. Cet écart représente le maximum des incertitudes multiplicatives à la sortie des régimes perturbés.

La détermination de l'expression des incertitudes se fait en utilisant l'expression ce qui implique l'expression suivante :

$$\bar{\sigma}\Delta m(s) = \bar{\sigma}[G_p(s) - G_n(s)] * G_n(s)^{-1}$$

Tel que :

$G_n(s)$: le régime nominal du système.

$G_p(s)$: le régime réel du système.

$G_n^{-1}(s)$: L'inverse de régime nominal.

Chapitre 2 : contrôle robuste des canaux d'irrigation

Une fois déterminé $\Delta m(s)$. On représente sa valeur singulière maximale. On utilise pour la spécification sur la stabilité $w_t(s)$ (qui est une approximation mathématique des incertitudes multiplicatives) par l'expression ci-dessous :

$$W_t(s) = \begin{pmatrix} 0.7(1 + 2000s) & 0 \\ 0 & 0.7(1 + 2000s) \end{pmatrix}$$

Avec cette matrice de transfert, nous pouvons borner les incertitudes multiplicatives, comme est illustré par la figure (2.4) :

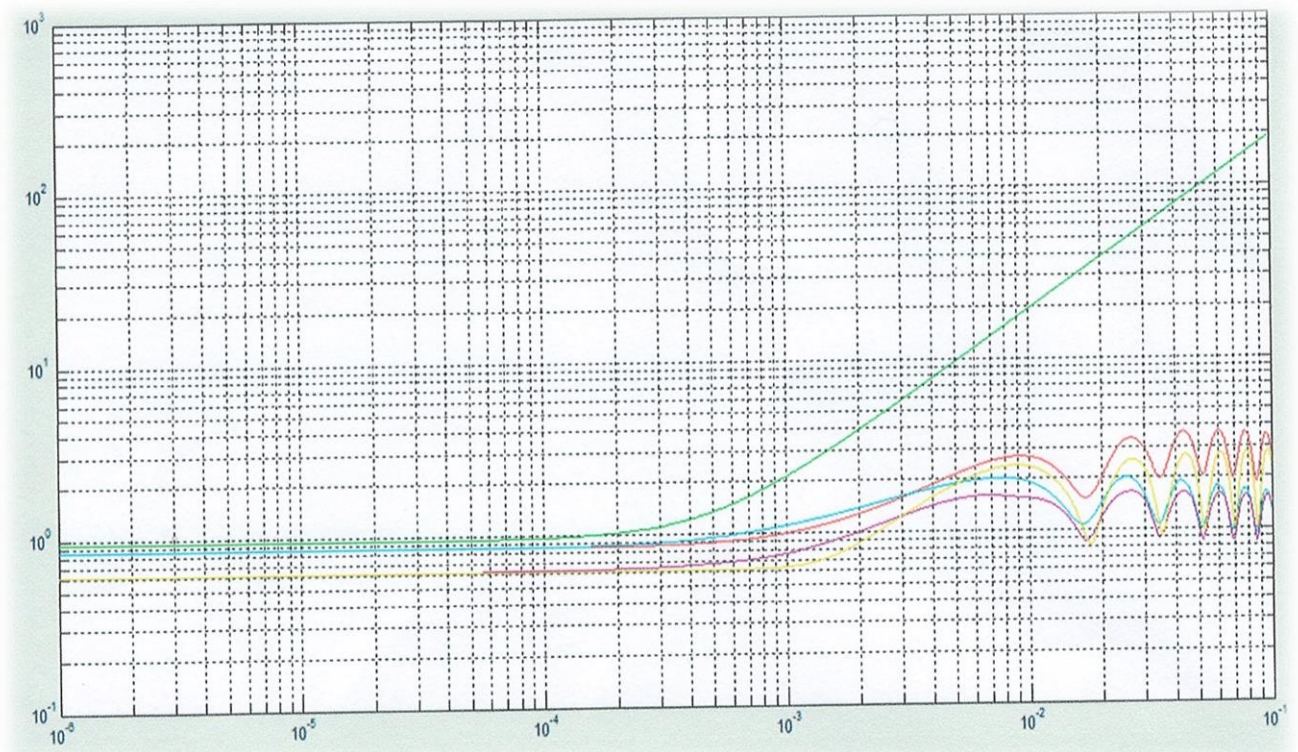


Fig 2.4 : incertitudes et spécification sur la stabilité (multivariable)

Nous remarquons sur les deux cas que la spécification de robustesse sur la stabilité est supérieure à la valeur singulière maximale de la perturbation multiplicative à la sortie, ce qui justifie le choix $w_t(s)$ de l'expression.

Chapitre 2 : contrôle robuste des canaux d'irrigation

2.3.2.2-Specification sur la performance $w_p(s)$:

Cette spécification a pour le rôle de définir les performances désirées, car il est aussi essentiel de veiller à améliorer les performances. La Spécification sur les performances sous forme :

$$Kp(s) = \begin{pmatrix} \frac{1+\alpha s}{\alpha s} & 0 \\ 0 & \frac{1+\alpha s}{\alpha s} \end{pmatrix}$$

Cette structure est validé pour les plusieurs raisons : d'abord c'est une matrice de transfert à seul paramètre, d'où une simplicité d'ajustement des performances désirées.

En plus, l'utilisation de cette matrice de transfert permettra d'imposer une erreur statique nulle.

Le paramètre α est généralement pris à la constante de temps dominante, ce qui permet d'avoir un temps de réponse de même ordre que celui du cas multivariable, et donc on ne créera pas un écart avec la dynamique du cas multivariable.

Le paramètre α est choisi à : $\alpha=2000$

La matrice des spécifications sur les performances $w_p(s)$ est :

$$Wp(s) = \begin{pmatrix} \frac{1+2000s}{2000s} & 0 \\ 0 & \frac{1+2000s}{2000s} \end{pmatrix}$$

La matrice de la spécification sur la stabilité $w_t(s)$ est :

$$Wt(s) = \begin{pmatrix} 0.7(1 + 2000s) & 0 \\ 0 & 0.7(1 + 2000s) \end{pmatrix}$$

Les valeurs singulières maximales de la spécification sur la stabilité et sur les performances $w_p(s)$, $w_t(s)$ sont données sur les figures.

La figure (2.5) présente la spécification de la performance :

Chapitre 2 : contrôle robuste des canaux d'irrigation

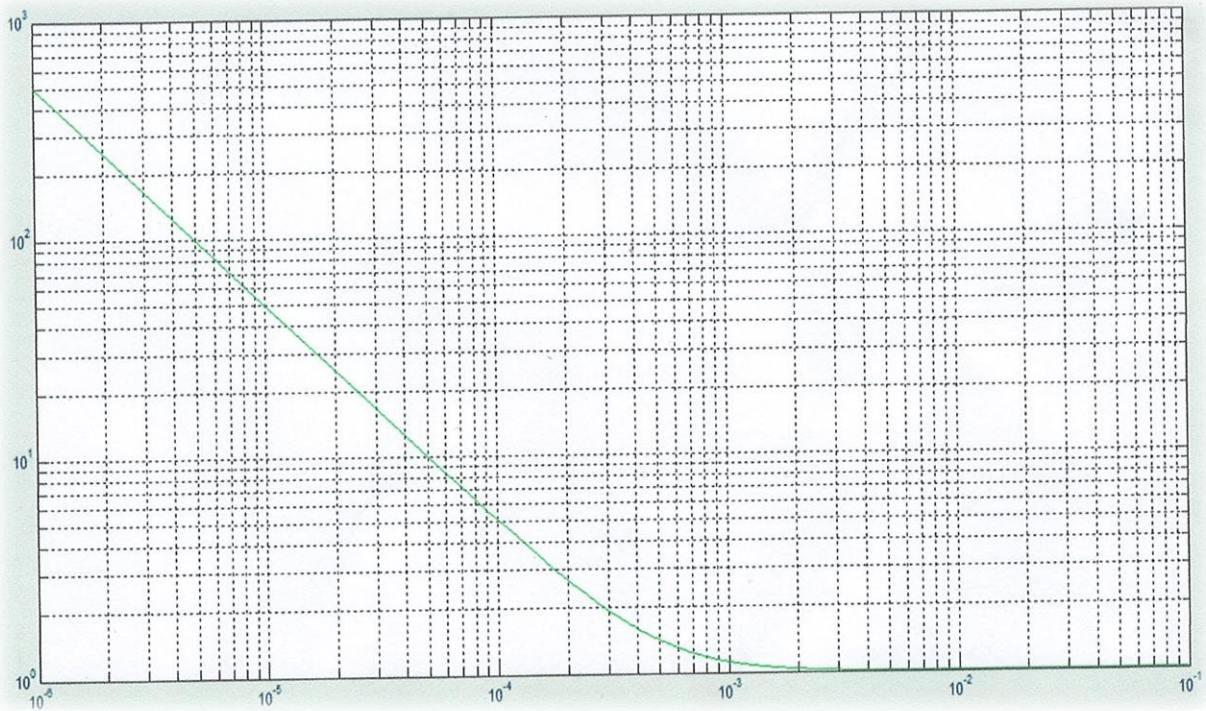


Fig2.5 : la valeur singulière maximale de $w_p(s)$

La figure (2.6) présente la spécification de la stabilité :

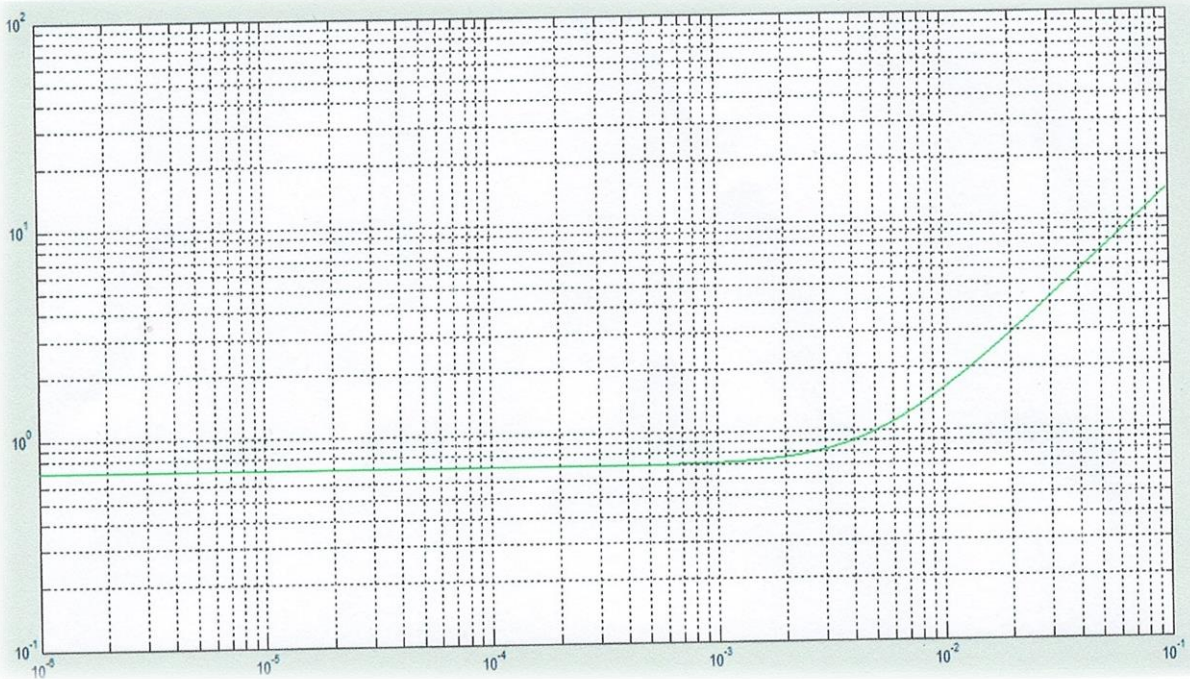


Fig2.6 : la valeur singulière maximale de $w_t(s)$

Chapitre 2 : contrôle robuste des canaux d'irrigation

Nous observons aussi sur les figures précédentes que le processus est découplé en basse fréquence et faiblement couplé en haut fréquence.

Enfin, on présente les conditions de robustesse sur la stabilité et les performances

L'expression de la stabilité $T(s)$ est : [12]

$$\bar{\sigma}[T(s)] < \frac{1}{\bar{\sigma}[w_t(s)]} \quad (3)$$

Avec : $T(s) = G(s)k(s) [I + G(s)K(s)]^{-1}$ (4)

L'expression de la sensibilité $S(s)$ est : [12] [13]

$$\bar{\sigma}[S(s)] \leq \frac{1}{\bar{\sigma}[w_p(s)]} \quad (5)$$

Avec : $S(s) = [I + G(s)K(s)]^{-1}$ (6)

Tel que I est la matrice qui est égale :

$$I: \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (7)$$

La valeur singulière de la matrice de sensibilité est également un indicateur de la sensibilité $S(s)$ de la réponse du système à un changement dans le caractère du plan.

En conclusion, les inégalités représentent [3] à [6] la robustesse des conditions et doivent convaincre d'obtenir un contrôleur robuste.

La figure (2.7) présente les conditions de robustesse :

Chapitre 2 : contrôle robuste des canaux d'irrigation

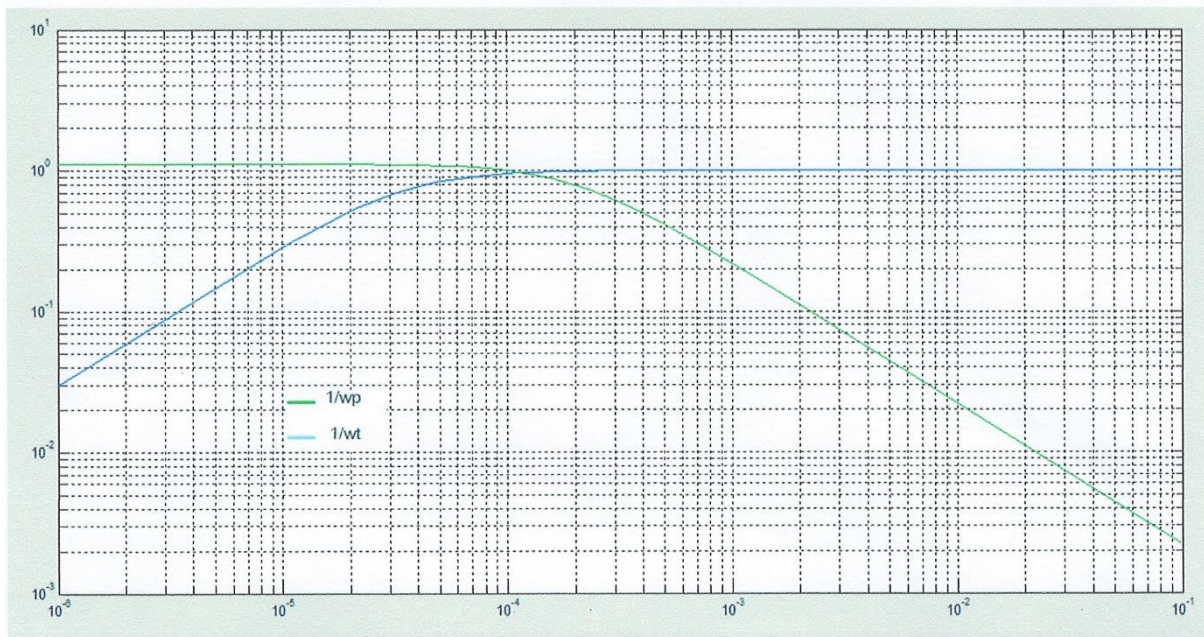


Fig (2.7) les conditions de robustesse sur la stabilité et les performances

A futur, nous sommes en mesure d'effectuer la synthèse H ∞ et de déterminer la loi de commandes qui permettra de maintenir la stabilité du système en boucle fermé et d'ajuster les performances afin d'améliorer son comportement. Ces conditions de robustesse ne doivent pas être violées par le gain principal maximal et la sensibilité maximale.

2 .3.3- méthode des gains principaux :

Les résultats fréquentiels de l'application du contrôleur K(s) sur le procédé du canal d'irrigation sont illustrées dans ce qui suit on présente les gains principaux de la sensibilité S(s) et de la stabilité T(s), ainsi que les conditions de robustesse sur la stabilité et sur les performances [14] [15]

La méthode des gains principaux est basée sur la forme suivante :

$$K(s)=K1*K2(s)*K3(s)*K(4) \quad (8)$$

Avec :

Chapitre 2 : contrôle robuste des canaux d'irrigation

$$K1 = G^{-1}(0) = \begin{pmatrix} 19.9601 & 19.9601 \\ -4.9776 & 19.9601 \end{pmatrix}; \text{ L'inverse du gain statique, il}$$

est utilisé en basse fréquence pour découper le processus

$$K2(s) = \begin{pmatrix} \frac{1}{s} & 0 \\ 0 & \frac{1}{s} \end{pmatrix}; \text{ est un intégrateur pour éliminer l'erreur statique.}$$

$K3=0.006$; est coefficient d'égalité entre stabilité et performances.

$$K4(s) = \begin{pmatrix} 1 + K11s & K12s \\ K21s & 1 + K22s \end{pmatrix}; \text{ est une structure pour réduire la grandeur de}$$

résonance en haute fréquence (n'affecte pas en base fréquence).

$$K11=962.06 ; K12=0 ; K21= 962.06$$

$$\min_{K4(j)} = \min_{K4} \max_w [\bar{\sigma}(T) \bar{\sigma}(\Delta m)]$$

Avec :

$$\bar{\sigma}(T) \bar{\sigma}(\Delta m) \text{ Condition de robuste de la stabilité}$$

La matrice du contrôleur final est alors donné par :

$$K(s) = \begin{pmatrix} 0.01197 \frac{(1+962.06s)}{s} & 0.01197 \frac{(1+962.06s)}{s} \\ -0.0029 \frac{(1+962.06s)}{s} & 0.01197 \frac{(1+962.06s)}{s} \end{pmatrix}$$

Les résultats sont présentés à la figure (2.8)

Chapitre 2 : contrôle robuste des canaux d'irrigation

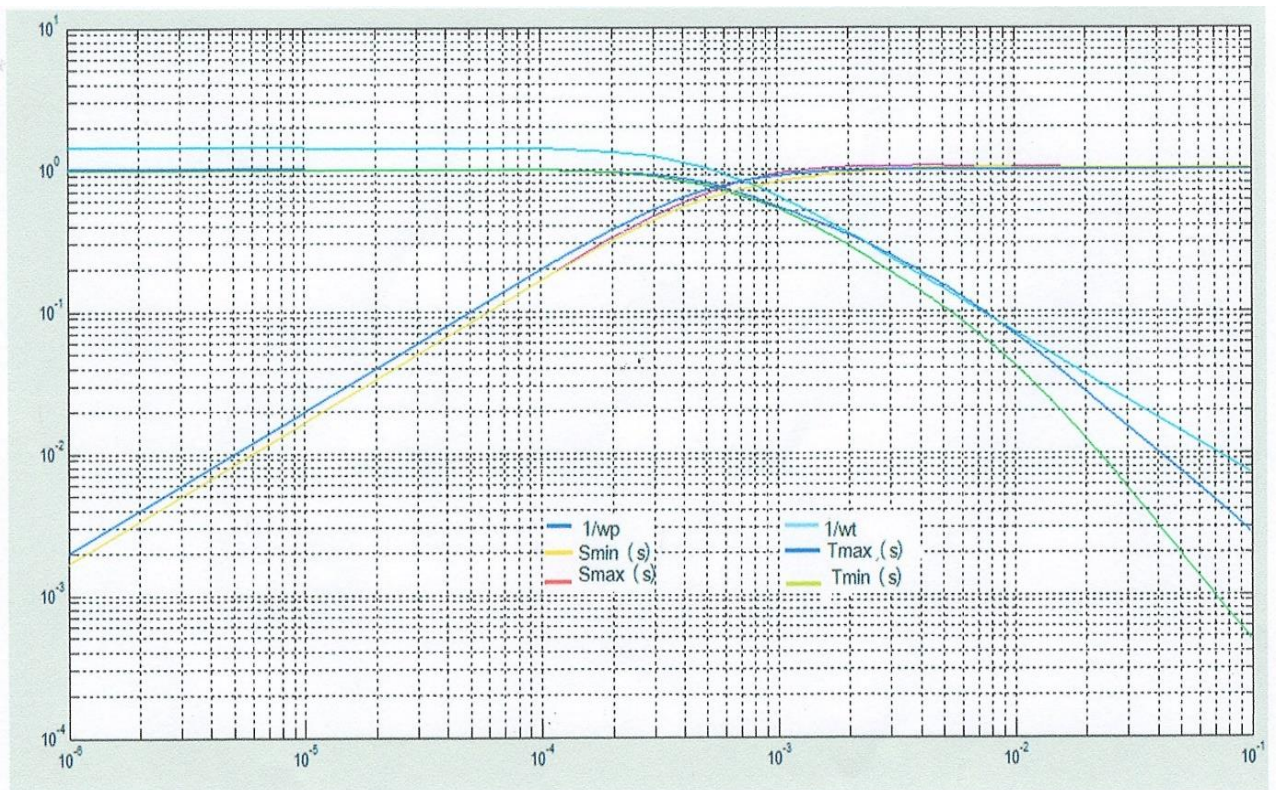


Fig2.8 : les conditions de robustesse st gains principaux

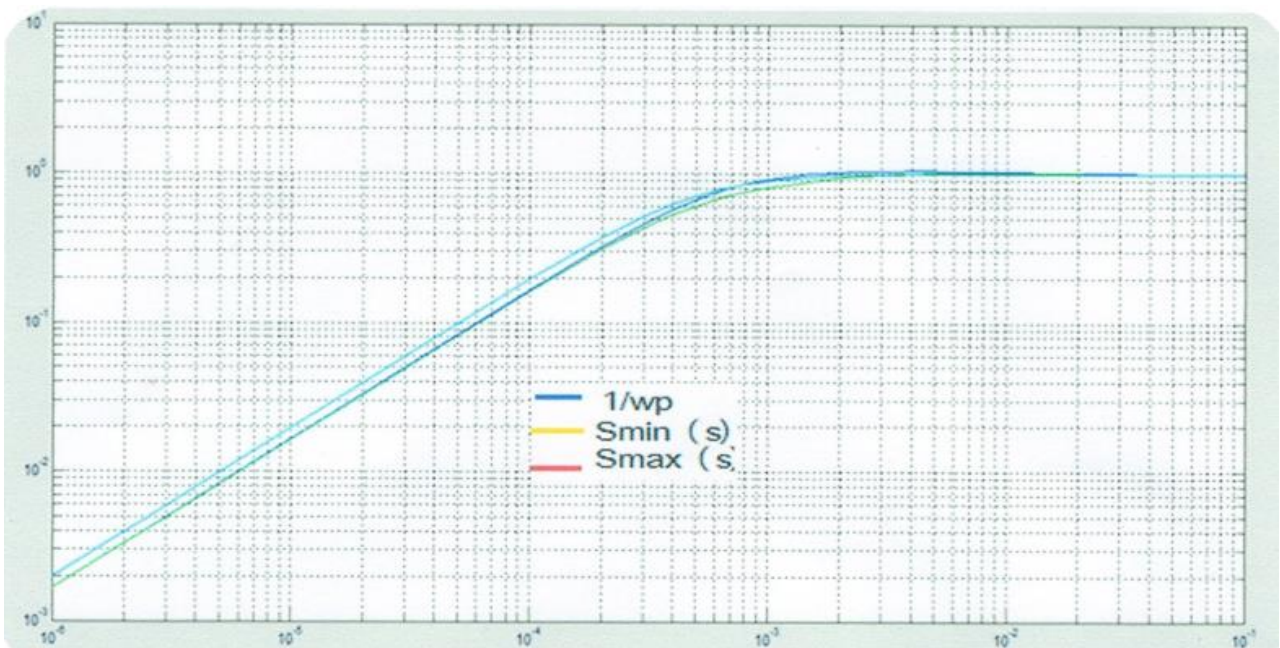


Fig 2.9 : la spécification sur les performances et la sensibilité

Chapitre 2 : contrôle robuste des canaux d'irrigation

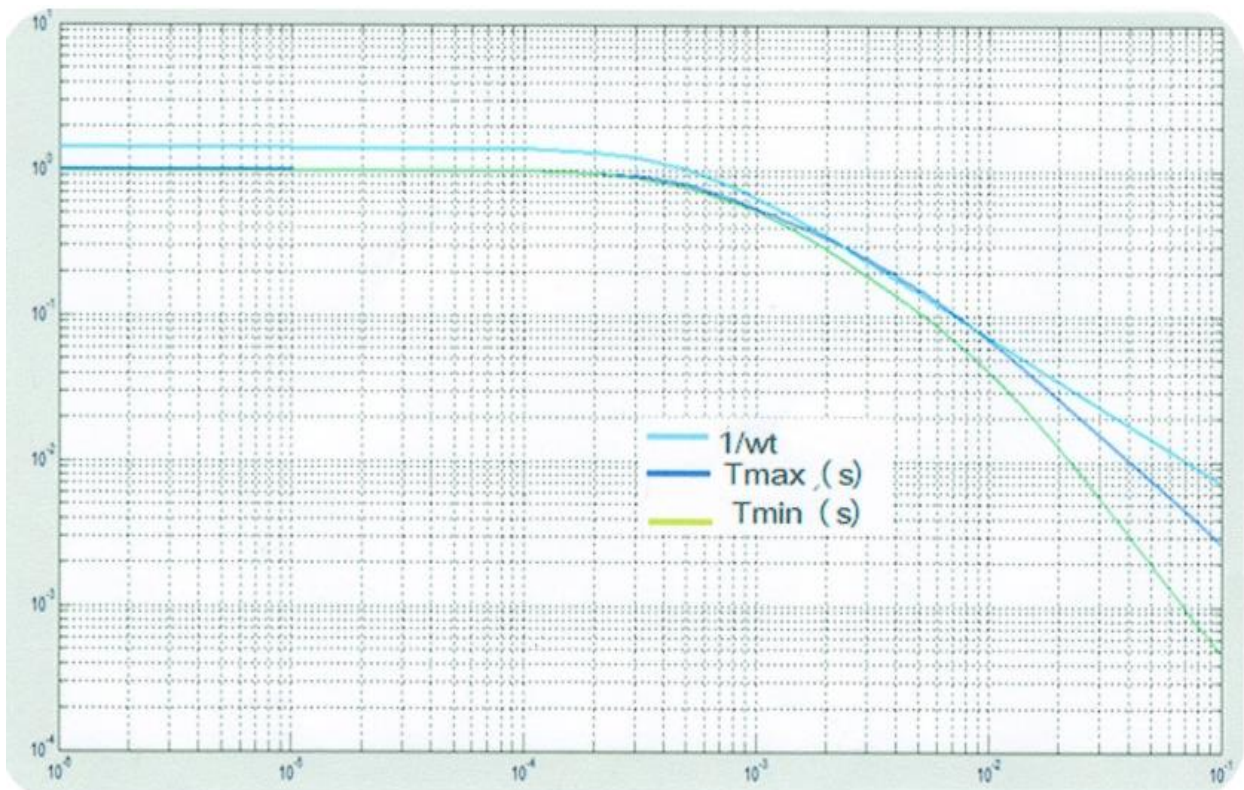


Fig 2.10 : la spécification sur la stabilité et le transfert

Il est démontré que les conditions de robustesse ne sont pas violées, pour les systèmes multivariables.

Nous constatons que les conditions de la robustesse sur la stabilité sont respectées :

Les gains principaux du transfert $T(s)$ sont au-dessous de la valeur singulière maximale de la condition de robustesse sur la stabilité $1/wt (s)$.

La condition de robustesse sur les performances est satisfaite : les valeurs singulières de la sensibilité $S(s)$ sont au-dessous de la valeur singulière maximale de la condition de robustesse sur les performances $1/wp(s)$.

Nous constatons qu'on a réalisé un découplage en basse fréquence (car les gains principaux sont superposés) et les interactions sont fortement atténuées pendant le régime transitoire.

Chapitre 2 : contrôle robuste des canaux d'irrigation

2.4- conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons analysé le comportement du procédé d'un système hydraulique (canal d'irrigation) dans le cas multivariable, le système est stable mais ses performances sont à améliorer.

Nous avons utilisé la méthode des gains principaux pour obtenir la rétroaction face aux incertitudes qui sont applique dans le canal d'irrigation.

Les résultats sont très encourageants car les modèles orientés vers le contrôle facilitent la conception de contrôleurs robustes à haute performance, ce qui permet d'accroître l'opérabilité et l'efficacité des bassins de canalisation d'irrigation et d'améliorer les services aux utilisateurs.

La théorie de contrôle robuste du traitement d'irrigation est simplifiée pour être très facile aux étudiants et aux ingénieurs.

Les travaux sont en cours pour étudier les méthodes des principaux gains pour les multiples bassins de canal principal d'irrigation.

Conclusion générales :

Dans ce travail nous avons d'abord introduit des notions de base sur la commande robuste en général. Après on a développé la commande robuste : commande robuste d'un système hydraulique multivariable sur un canal d'irrigation, nous avons déterminé les spécifications de la robustesse et la méthode des gains principaux.

Il existe un grand nombre de techniques modernes pour le contrôle des systèmes linéaires.

Une des techniques à considérer est la commande robuste. Particularité de celle-ci qu'elle permet d'assurer la stabilité des systèmes en boucle fermée, tout en ayant de bonnes performances.

Une analyse du procédé d'un système hydraulique comme le canal d'irrigation a montré que ses performances sont correctes, mais nécessitent des améliorations. La synthèse par la méthode des gains principaux a permis d'obtenir un contrôleur capable d'assurer la stabilité en boucle fermée et de garantir les performances spécifiées.

La robustesse du contrôleur est confirmée par l'implantation avec le régime perturbé

Les perspectives de l'application de telles commandes sont importantes sur les procédés que compte d'industrie. Le principal objectif de l'emploi des contrôleurs basés sur la méthode des gains principaux est de maintenir le bon fonctionnement.

Références bibliographie

[1] D. Alazard, C. Cumer, P. Apkarian, M. Gauvrit, G.Ferreres, “Robustesse et commande optimale”, Cépaduès, 1999.

[2] K. Meskine, “ Commande robuste floue des systèmes non linéaires incertains ”, Mémoire de Magister, Université de Sétif, 09 juin 2010.

Y.Piguet, “ Synthèse multi modèle d’un régulateur polynomial robuste ”, Thèse de Doctorat, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, 1997.

[3]. R.S. Burns Advanced Control Engineering Butterworth-Heinemann, 2001.

[4] R. Boukezzoula, “Commande floue d’une classe de systèmes non linéaires : application au problème de suivi de trajectoire”, Thèse de Doctorat, Université de Savoie, 31 mars 2000.

[5] G. Zames, “Feedback and optimal sensitivity: Model reference transformations, multiplicative seminorms, and approximations,” IEEE Transactions on Automatic Control, vol. 26, issue N°4, 1981.

[5] L. Lavigne, “ Outils d’analyse et de synthèse des lois de commande robustes des systèmes dynamiques plats ”, Thèse de Doctorat, Université Bordeaux I, 17 Juin 2003.

[6]. J.C.Doyle and G.Stein

Multivariable feedback design: concepts for classical/modern synthesis

IEEE Transactions on Automatic Control, Volume AC-26, pp.4-16, 1981

[7].D.W. GU, P. Hr.Petkov and M.M.konstantinov Robust Control Design with MATLAB
Springer-Verlag, 2005

[8]. G. Stein

Beyond singular values and loop shapes

Honeywell Systems and Reserch Center and M.I.T.1985

- [9]. V. Feliu-batlle R.Rivas-Perez F.JCastillo-Garcia L.Sanchez Rodriguez and A.L Linares -Saez. "Robuste fractional ordre controller for irrigation main canal pool with tmie-varing dynamical parameters" computers and electronics in agriculture Elsevier 2011, pp, 205-217
- [10]. V.Felui Battle, R.Rivas-Perez L.Sanchez Rodriguez F.J.Castillo Garcia and A.Linarez Saez "Robuste fractional ordre PL controller for a main irrigation canal pool IFAC, the Intre l.Feder of automatic controller 2008.
- [11].F.J Castillo Garcia V. Feliu-Battle. R.Rivas-perez and L.Sanchez "Time Domain Tuning of a Fractional Ordre pla controller combinai with a Smith Producteur for automation of ater Distribution in Irrigation Main canal pools" IFAC.2011.
- [12].J.C Doyle and G.Stein "Multivariable Feedback Design Concepts for a Classical Modem Synthesis "IEEE.Trans.Automat Control vol, AC-N=1, pp, 4-16.
- [13]M.G Savonov and R.Y Chiang,"CACSD using the State space Lx theory-A Dosing "Trans automat control .AC33, 1988, Num5, pp477-479
- [14] S. YAHMADI"mise en œuvre d'outils algorithmiques Permettant l'Etude de la robustesse de la stabilité et des performances des systems multivariable Bouclés" PHD Tesis (French Text) univ Laval Québec Canada (1993).
- [15] Wang Ziqin llu Keding and Qian Zhong-llan,"Design of robust controller in frequency Domain "IFAC, the 10 International Federation of Automatic Control, Munich FRG, 1987