الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
PEOPLE'S DEMOCRATIC REPUBLIC OF ALGERIA

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
جامعة محمد بوضياف بالمسيلة
كلية التكنولوجيا
قسم الهندسة الكهربائية

MINISTRY OF HIGHER EDUCATION AND SCIENTIFIC RESEARCH
MOHAMED BOUDIAF UNIVERSITY OF M'SILA
FACULTY OF TECHNOLOGY
DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING

رقم: 439 /ق ه ك /2024

المسيلة في : 02 ديسمبر 2024

شهادة إدارية

بخصوص مطبوعة الدروس الخاصة بالأستاذ

بن يونس عبد الحفيظ

بناءً على محضر اللجنة العلمية لقسم الهندسة الكهربائية تحت رقم: 365/ ق.ه.ك/2024المنعقد بتاريخ 06نوفمبر2024 والمتضمن تعيين الخبراء: الأستاذ خطاب خثير أستاذ بجامعة المسيلة ،الأستاذ زميت عبد الرحيم أستاذ محاضر –أ- بجامعة المسيلة والأستاذ بوزيدي منصور أستاذمحاضر –أ- بجامعة ورقلة وذلك لتقييم مطبوعة الأعمال التطبيقية لخاصة بالأستاذ بن يونس عبد الحفيظ أستاذ محاضر "ب" بقسم الهندسة الكهربائية لجامعة المسيلة تحت عنوان: "TP-système asservis linéaire et continu" وبعد إطلاع رئيس اللجنة العلمية ورئيس القسم على التقارير الواردة و التي كانت كلها ايجابية، وعليه فإن اللجنة لا ترى مانعا أن تتخذه سندا في تدريس طلبة السنة الثانية ليسانس ألية، شعبة الألية ،ميدان علوم و تكنولوجيا و أن تعتمد في أي تقييم للمسار العلمي للأستاذ المعني.

رئيس اللجنة العلمية
أ .د بوقرة عبد الرحمان

رئيس القسم
دفداف المبروك

ملاحظة: سلمت هذه الشهادة للمعني(ة) لاستعمالها في حدود ما يسمح به القانون.

République Algérienne Démocratique et Populaire

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Université Mohamed Boudiaf –M'sila

Faculté de Technologie

Département : Génie Electrique

جامعة محمد بوضياف- المسيلة

كلية التكنولوجيا

قسم : الهندسة الكهربائية

Niveau : **2eme année Licence Académique**

Intitulé du Licence : **Automatique**

Semestre : **4**

Intitulé de l'UE Méthodologique

Code : **UEM 2.2**

Intitulé de la matière : **TP Systèmes asservislinéaires et continus**

Crédits : **2**

Coefficients : **1**

Polycopié de TP

Intitulé :

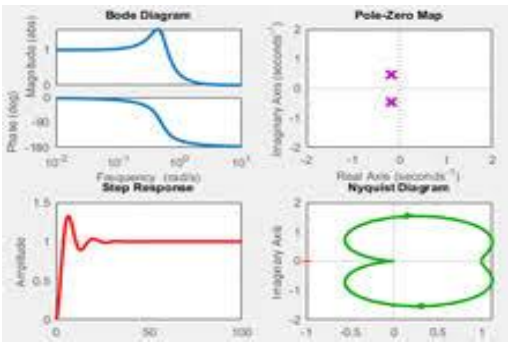
TP Systèmes asservis linéaires et continus

Préparé par:

Abdelhafid BENYOUNES

Maître de Conférences classe B

Département de Génie électrique



Année académique: **2023-2024**

Avant-propos

Les systèmes asservis occupent une place centrale dans de nombreux domaines de l'ingénierie, allant de l'automatisation industrielle à la robotique, en passant par les technologies de contrôle dans les secteurs de l'aérospatiale et des énergies renouvelables. Ces systèmes permettent de maintenir ou d'ajuster automatiquement une grandeur physique (comme la vitesse, la position ou la température) à une valeur souhaitée, en utilisant des mécanismes de rétroaction pour corriger les écarts.

Ce programme de travaux pratiques a été conçu pour offrir une compréhension approfondie et progressive des principes fondamentaux des systèmes asservis. Il combine des concepts théoriques essentiels à des applications pratiques, permettant aux apprenants de développer des compétences solides en modélisation, analyse, et conception de systèmes de contrôle.

Ce support principalement est dédié aux étudiants de 2ème année Licences options : Automatique, ce support de TP s'articule autours des objectifs déférents à travers ces six travaux pratiques, les étudiants seront guidés dans l'exploration de thématiques clés :

- **TP N°1** introduit les bases des fonctions de transfert et la simplification des schémas fonctionnels, des outils indispensables pour analyser les systèmes complexes.
- **TP N°2 et N°3** explorent respectivement les comportements des systèmes du 1er et 2ème ordre, en se concentrant sur leurs caractéristiques dynamiques comme le temps de réponse, l'amortissement et les erreurs statiques.
- **TP N°4** est consacré à l'analyse fréquentielle, un aspect crucial pour comprendre comment un système répond aux différentes fréquences des signaux d'entrée.
- **TP N°5** met l'accent sur la stabilité, une propriété incontournable pour garantir le bon fonctionnement des systèmes en boucle fermée.
- **TP N°6** conclut le programme avec la synthèse des correcteurs classiques, une étape essentielle pour l'amélioration des performances des systèmes de contrôle.

L'approche adoptée vise à renforcer l'apprentissage par la pratique, notamment à travers des simulations assistées par des outils logiciels comme MATLAB, Simulink…

Ces exercices permettront également de connecter les concepts étudiés à des applications réelles, telles que la commande des moteurs, les circuits électriques, et les systèmes mécaniques ….

Sommaire

Introduction

Les systèmes asservis linéaires et continus jouent un rôle crucial dans de nombreux domaines d'application, allant de l'industrie manufacturière à l'aérospatiale en passant par l'électronique et l'automatisation. La compréhension approfondie de ces systèmes est essentielle pour concevoir des contrôleurs efficaces et garantir des performances optimales.

Ce polycopié de travaux pratiques est conçu pour offrir aux étudiants une expérience pratique dans la modélisation, l'analyse et la synthèse des systèmes asservis linéaires et continus. En combinant des exercices théoriques et des simulations numériques, les étudiants pourront renforcer leurs connaissances fondamentales et développer des compétences précieuses dans la résolution de problèmes pratiques.

Les travaux pratiques proposés dans ce polycopié couvrent un large éventail de concepts clés, tels que les fonctions de transfert, les schémas fonctionnels, l'analyse temporelle et fréquentielle, ainsi que l’étude de stabilité des systèmes et la synthèse de correcteurs classiques. Les étudiants auront l'opportunité d'explorer ces notions à travers des exercices pratiques, en utilisant des outils de simulation tels que MATLAB / Simulink.

-Université De M'sila-

-Département de Génie Electrique -

-Travaux Pratiques système asservi -

-Spécialité : Licence Automatique –L2-
-Année 2022/2023-

Responsable du TP : Dr. BENYOUNES Abdelhafid

TP1 : Fonction de transfert et schémas fonctionnels

Durée : 1h30m

Objectifs :

- **Modélisation et simulation des systèmes, sous Matlab**
- **Représentation des systèmes par fonctions de transfert (Transformé de Laplace)**
- **Opération sur les schémas fonctionnels, fonctions de transfert, sous Matlab.**
- **Simulation des schémas fonctionnels avec Simulink .**

1. Fonction de transfert:

a/ Soit le circuit RC donné par la figure suivante (Fig.1). On considère la tension U_e comme entrée $e(t)$, et U_c comme tension de sortie $s(t)$, avec $U_e = 40v$, $R = 50\Omega$ et $C = 63\mu F$ (les conditions initiales sont nulles).

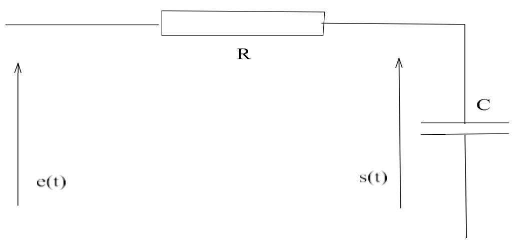


Figure1 Circuit RC

1. Etablir l'équation différentielle qui régit le fonctionnement de ce circuit en appliquant la loi de Kirchhoff des tensions.
2. Donner la fonction de transfert de ce système.
3. Résoudre l'équation différentielle de ce circuit on utilisant la transformée de laplace inverse
4. Tracer la réponse indicielle à un échelon unitaire

b/

Soit le circuit RLC donné par la figure suivante (Fig.2). On considère la tension V_{in} comme entrée $e(t)$, et V_{out} comme tension de sortie $s(t)$, avec $U_e = 40v$, $R = 50\Omega$ et $C = 63\mu F$ (les conditions initiales sont nulles).

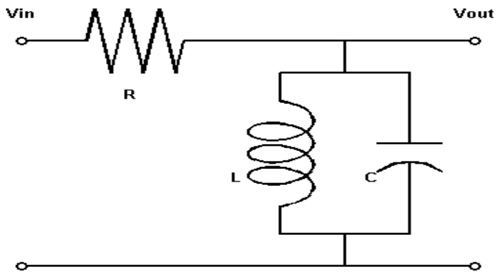


Figure2 Circuit RLC

1. Etablir l'équation différentielle qui régit le fonctionnement de ce circuit en appliquant la loi de Kirchhoff des tensions.
2. Donner la fonction de transfert de ce système.
3. Résoudre l'équation différentielle de ce circuit on utilisant la transformée de laplace inverse
4. Tracer la réponse indicielle à un échelon d'amplitude 2

2. Simplification des schémas fonctionnels :

Il est intéressant de simplifier les schémas fonctionnels en regroupant les fonctions de transfert entre elles. Soit un système constitué de trois blocs de fonction de transfert $H_1(p)$, $H_2(p)$ et $H_3(p)$. On note,

$$H_1(p) = \frac{1}{1+3p} \qquad H_2(p) = \frac{0.5}{1+p} \qquad H_3(p) = \frac{2p+10}{p^2+p+3} \tag{1}$$

1. Rentrer dans Matlab les trois fonctions de transfert précitées.
2. Donner la fonction de transfert globale H de H_1, H_2 et H_3 en séries.
3. Donner la fonction de transfert globale H de H_1, H_2 et H_3 en parallèles.
4. Si H_1 est en série avec H_2 et H_3, et H_2 est en parallèle avec H_3, donner la fonction de transfert globale H de cette représentation.

Soit le système défini par le schéma fonctionnel ci-dessous (Fig. 2) :

1. Déterminer la fonction de transfert de ce système par réduction du schéma-blocs.
2. En remplaçant les fonctions de H1, H2 et H3 par les nouvelles fonctions suivantes:

$$H_1 = A \qquad H_2(p) = \frac{2p+20}{p^2+p+3} \qquad H_3(p) = \frac{0.5}{p+10} \tag{2}$$

3. Donner plusieurs valeur de A, et déterminer la réponse du système à l'application d'un échelon de 1.

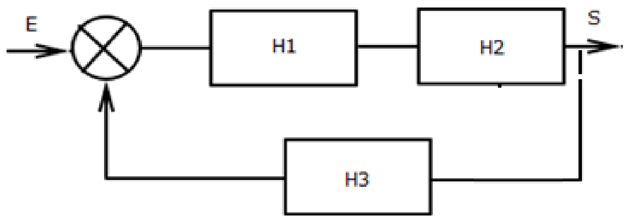


Figure3 Système en boucle fermée

-Université De M'sila-

-Département de Génie Electrique -

-Travaux Pratiques système asservi -

-Spécialité : Licence Électrotechnique –L3-

-Année 2020/2021-

Responsable du TP : Dr. BENYOUNES Abdelhafid

TP2 : Etude des comportements de système de 1^{er} ordre

Durée:1h15m

I- Objectifs :

- **Modéliser et Simuler des Systèmes de 1er ordre avec Simulink**
- **Etudier le comportement d'un Système de 1er ordre Mesurer les paramètres qui Caractérisent les différentes réponses : temps de montée ; temps de réponse**
- **Observer la réponse d'un système instable.**

II- RAPPEL THEORIQUE :

L'analyse temporelle représente une possibilité très utilisée pour décrire le comportement transitoire des systèmes linéaires, aux côtés de l'analyse fréquentielle. L'objectif est de présenter les notions fondamentales du régime transitoire et leurs applications aux systèmes asservis afin de déterminer leurs performances dans ces domaines.

On appelle système du premier ordre, tout système régi par une équation différentielle du premier ordre à coefficients constants:

$$\tau \frac{ds(t)}{dt} + s(t) = Ke(t)$$

avec τ : constante de temps > 0 et K: gain statique.

La fonction de transfert du système s'obtient par l'application de la transformée de Laplace à l'équation différentielle précédente sans tenir compte des conditions initiales; La fonction de transfert est donnée par :

$$H(s) = \frac{S(s)}{E(s)} = \frac{K}{1+\tau s}$$

Elle admet un pôle réel $p = -1/\tau < 0$. La réponse indicielle d'un tel système est la réponse à un échelon $e(t) = E_0 u(t)$. L'équation différentielle dans ce cas, est donc la suivante :

$$\tau \frac{ds(t)}{dt} + s(t) = KE_0 u(t) \quad .$$

L'application de la transformée de Laplace à l'équation différentielle à condition initiale nulle (s(0) = 0) conduit à:

$S(s) = \frac{K}{1+\tau s} \frac{E_0}{s}$ L'équation de la tangente à l'origine est $S_t = \frac{KE_0}{\tau} t$

Des valeurs particulières de la réponse indicielle sont fournies par le tableau suivant :

pour t = τ	s(t) = 63% K E_0
pour t = 3 τ	s(t) = 95% K E_0

La figure 1 représente la réponse indicielle d'un système de fonction de transfert : $H(s) = \frac{5}{1+2s}$

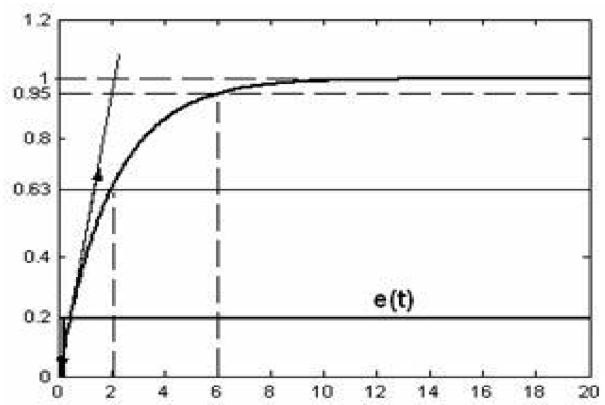


Figure 1

Afin d'évaluer la durée du régime transitoire, on définit le temps de réponse à 5%, noté $Tr_{5\%}$, comme étant le temps mis pour que la réponse atteint 95% de sa valeur finale; D'où : $Tr_{5\%} = 3\tau$,

Il est indépendant de K et de E_0. L'analyse temporelle ci-dessus a permis de caractériser complètement la réponse indicielle d'un système d'ordre un :

- démarrage à l'origine : pente non nulle
- forme de la réponse transitoire : exponentielle sans oscillation
- estimation de la durée du régime transitoire : $Tr_{5\%} = 3\tau$
- valeur finale : KE_0

III Travail à faire

Soit Un système du 1er ordre s'écrit de manière générale: $H(s) = \frac{K}{1+\tau s}$

avec τ : constante de temps > 0 et K: gain statique.

1. Etude en boucle ouverte (BO)

- Réaliser le montage correspondant par simulink

- Appliquer à l'entrée du système un signal échelon unitaire.

- Tracer la réponse du système en boucle ouverte en complétant les tableaux ci-dessous :

- **Pour *k*=1**

τ	0.5	1	1,5
Temps de réponse à 5%			

- **Pour τ =1**

k	1	3	10
Erreur statique			

On met en entrée un échelon unitaire ($E(s)$=1/s). Retrouver à l'aide des transformées inverses de Laplace, l'expression de $S(t)$, réponse du système à cette entrée.

1. **<u>Etude en boucle fermée (BF)</u>**

Dans ce cas le système est en boucle fermée avec un retour unitaire.

- Refaire les mêmes étapes (en BO) avec :

- **Pour *k*=1**

τ	0.5	1	1.5
La constante de temps τ' (en BF)			
Temps de réponse à 5%			

- **Pour τ =1**

K	1	3	10
Le gain K' en BF			
La constante de temps τ'(en BF)			
Erreur statique $\varepsilon(t_f)$			

- Exprimer la nouvelle constante de temps τ' en fonction de τ et k. en déduire le temps de réponse T_r'

- Exprimer en fonction de k le gain statique k' et l'erreur statique en boucle fermée pour une entrée en échelon unitaire.

- Interpréter les réponses indicielles obtenues en boucle ouverte et en boucle fermée.

-Université De M'sila-

-Département de Génie Electrique -

-Travaux Pratiques système asservi -

-Spécialité : Licence Automatique –L2-

-Année 2019/2020-

Responsable du Module : Dr. BENYOUNES Abdelhafid

TP3 : Etude du comportement d'un système du 2ème ordre

Durée : 1h30m

I- Objectifs :

- Modéliser et Simuler des Systèmes de 2ème ordre avec Simulink
- Etudier le comportement d'un Système de 2ème ordre Mesurer les paramètres qui caractérisent les différentes réponses : temps de montée ; temps de réponse, dépassement, erreur statique
- Observer la réponse d'un système instable

II- RAPPEL THEORIQUE :

On appelle système du second ordre tout système régi par une équation différentielle du second ordre à coefficients constants, l'équation s'écrit sous sa forme canonique suivante :

$$\frac{1}{\omega_n^2}\frac{d^2s(t)}{dt}+\frac{2z}{\omega_n}\frac{ds(t)}{dt}+s(t)=Ke(t)$$

avec:

- ω_n : la pulsation propre du système non amorti (rd/s) si l'unité du temps est en seconde;
- K : gain statique de dimension = [dimension de s]/[dimension de e];
- z : facteur ou coefficient d'amortissement, parfois noté m ou ξ (sans dimension).

On associe au système un bloc à l'intérieur duquel on inscrit sa fonction de transfert en précisant que E(s) et S(s) sont respectivement l'entrée et la sortie du système :

$$E(s) \longrightarrow \boxed{\underset{H(s)}{\dfrac{Kw_n^2}{s^2+2zw_ns+w_n^2}}} \longrightarrow S(s)$$

Les pôles de la fonction de transfert sont les racines de l'équation caractéristique (Dénominateur). La réponse indicielle est la réponse à l'excitation $e(t) = E_0 u(t)$; soit $u(p) = \dfrac{E_0}{p}$

$$S(s) = \frac{KE_0}{s(\frac{1}{\omega_n^2}s^2 + \frac{2z}{\omega_n}s + 1)}$$

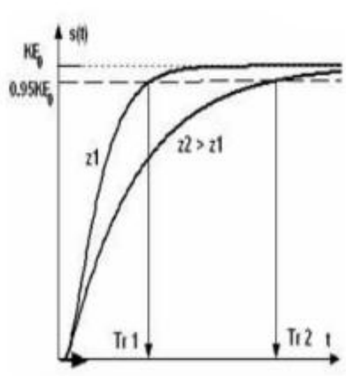
La tangente à l'origine est donc nulle. La courbe démarre tangentiellement à l'axe du temps, passe par une phase transitoire avant de se stabiliser à sa valeur finale *K E_0*. L'allure du régime transitoire dépend de la nature des pôles de la fonction de transfert.

- Comportement transitoire en fonction du coefficient d'amortissement :

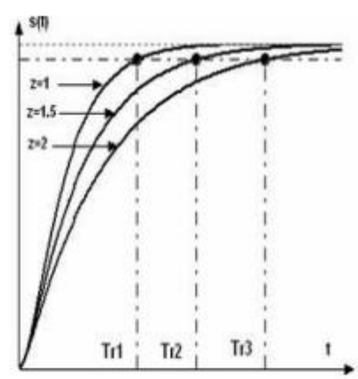
La nature des pôles de la fonction de transfert détermine le comportement transitoire. Elle dépend en particulier du coefficient d'amortissement comme le montre l'étude de l'équation suivante :

On a : $\Delta = z^2\omega_n^2 - \omega_n^2 = \omega_n^2(z^2 - 1)$ Les solutions r_1 et r_2 de l'équation ci-dessus sont données dans le tableau suivant selon le coefficient d'amortissement z:

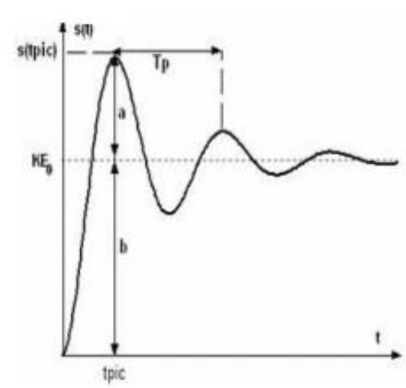
si z > 1	$r_2 = -\omega_n\left(z - \sqrt{z^2-1}\right)$ $r_1 = -\omega_n\left(z + \sqrt{z^2-1}\right)$	Deux pôles réels Distincts
si z =1	$r_1 = r_2 = -\omega_n$	un pôle réel double
si z < 1	$r_1 = -\omega_n\left(z + j\sqrt{1-z^2}\right)$ $r_2 = -\omega_n\left(z - j\sqrt{1-z^2}\right)$	Deux pôles complexes conjugués



Cas 1: z >1 - Régime apériodique

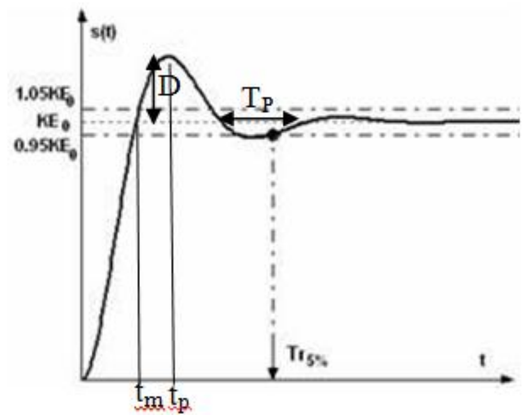


Cas 2: z =1 - Régime apériodique critique



Cas 3 : z < 1 régime oscillatoire amorti

- Temps de réponse : Lorsque la réponse indicielle est apériodique, le temps de réponse à 5% est toujours défini par le temps au bout duquel la réponse atteint 95% de sa valeur finale. Par contre, lorsque la réponse est oscillatoire amortie, le temps de réponse à 5% est défini par le temps au bout duquel, la réponse rentre définitivement dans la bande définie par 105% et 95% de la valeur finale. La figure 2 donne un exemple de relevé du temps de réponse à partir de la réponse indicielle d'un système du deuxième ordre avec z < 1.



Tp: pseudo-periode des oscillations

tm : temps de montée

D : dépassement maximale

tp : temps de pic

tr : temps d'établissement

KE_0 : valeur finale

Les performances des systèmes asservis sont formulées parfois en termes de caractéristiques temporelles et/ou fréquentielles. En générale, on souhaite que la fonction de transfert en boucle fermée d'un système asservi soit du premier ordre ou du second ordre avec des caractéristiques temporelles et/ou fréquentielles (*Gain statique, Constante de temps, Paramètres z et* ω_n) fixées par le cahier des charges.

I. Travail à faire

Soit Un système du 1^er^ ordre s'écrit de manière générale: $H(s) = \dfrac{K\omega_n}{s^2 + 2z\omega_n s + \omega_n^2}$

1. <u>Etude en boucle ouverte (BO)</u>

- Réaliser le montage correspondant par simulink
  - ➢ **1^er^ Cas :** on fixe w_n à 1[rad/s] avec k=1
- Tracer la réponse indicielle du système en variant *z* .
- Relever la valeur maximale de chaque réponse puis compléter le tableau ci-dessous :

Z	0	0.1	0.5	0.7	1	1.5	2
y_{max}							
D_1(%)							

  - ➢ **2^ème^ Cas :** Prenant w_n à 1[rad/s], z = 0.25 et k=1

- Déterminer les temps de temps caractéristiques du système : t_p, t_m, et t_r

- Déterminer graphiquement la valeur de w_d (pulsation d'oscillation)

  - **$3^{ème}$ Cas :** on fixe k=1 et z=0.5

Tracer la réponse indicielle pour w_n = 1 ; 3 ; et 10 [rad/s] Que remarquez – vous ?

2. Etude en boucle fermée (BF)

Réaliser par SIMULINK le schéma de simulation du système en boucle fermée à retour unitaire avec un gain k sur la chaîne d'action.

  - **1^{er} Cas :** on donne w_n = 1[rad/s] ,z=0.3

- Exciter le système par un échelon unitaire et observer la sortie en variant le gain k
- Pour chaque réponse relever le dépassement, le temps de pic, le temps de montée et l'erreur statique correspondante en complétant le tableau ci – dissous :

K	1	5	10	100
D_1(%)				
t_p(s)				
t_m(s)				
$\varepsilon(t_f)$				

3. Cas d'un système du second ordre instable :

Tracer la réponse indicielle pour les deux cas suivants :

  - z = - 0.1 et w_n=1 rd/s
  - z = - 0.1 et w_n=10 rd/s

* Pour le système du second d'ordre en B.F à retour unitaire avec un gain *k*.

- Exprimer la nouvelle constante de temps τ réponse t'. en fonction de τ et k. En déduire le temps de Exprimer en fonction de k le gain statique k' et l'erreur statique E'(∞).
- Quelles conclusions pouvez-vous en tirer en comparant les réponses indicielles obtenus en BO et en BF.
- Discuter l'intérêt de l'action proportionnelle en régime statique et dynamique.

-Université De M'sila-

-Département de Génie Electrique -

-Travaux Pratiques système asservi -

-Spécialité : Licence Automatique –L2-

-Année 2019/2020-

Responsable du Module : Dr. BENYOUNES Abdelhafid

TP4 : Analyse fréquentielle des systèmes linéaires du 1er et 2eme ordre

Durée:1h30m

I- Objectifs :

L'objectif de ce TP est celui d'étudier les systèmes de 1^er^ et 2^eme^ dans le domaine fréquentiel en utilisant MATLAB. Tracer les diagrammes de Bode, et de Nyquist pour n'importe quel système. Vérifier la stabilité d'un système et en déterminer, dans le cas de système stable, le degré de stabilité (marge de phase et marge de gain).

II- système du premier ordre *:* On considère le système du premier ordre suivant

$$P) = \frac{K}{1+\tau P}$$

On appelle :

K : le gain statique.

τ : la constante du temps du système.

II-1 Réponse fréquentielle

1. Donner l'expression du gain complexe $|G(j\omega)|$ ainsi que celle de $|G_{dB}\ \ \omega)|$.

2. Donner l'expression de la phase $\varphi(j\omega)$. En déduire la pulsation de coupure du système ω_c.

On prend $\tau = 0.2\ et\ K = 1$

3. Tracer alors les allures des courbes dans la diagramme de Bode, et Nyquist .

4. Tracer avec Matlab le lieu des racines de G.

5. Quel est l'effet d'une variation de la valeur du gain K($\tau = cte$) sur

- Le gain G.
- La phase φ.
- La pulsation de coupure.

6. Quel est l'effet d'une variation de la valeur de τ (K $= cte$) sur

- Le gain G.
- La phase φ.
- La pulsation de coupure.

III- système du deuxième ordre : On considère le système du deuxième ordre suivant

$$\boxed{F(P) = \frac{k}{\frac{P^2}{w^2{}_n} + \frac{2\zeta}{w_n}P + 1}}$$

K : est le gain statique du système

w : est la pulsation naturelle ou pulsation propre du système appelé aussi pulsation propre des oscillations non amorties (en rad/s).

III-1 Réponse fréquentielle

1. Donner l'expression du gain complexe $|G(j\omega)|$ ainsi que celle de $|G_{dB}\ \ \omega)|$.
2. Donner l'expression de la phase $\varphi(j\omega)$, de la pulsation de résonance ω_R et du facteur de qualité Q du système.

On prend $\omega_n = 10rd/s\ et\ K = 1$

3. Tracer alors les allures des courbes dans le diagramme de Bode. On prend **ζ=0.3 ;0.5 ;0.7 ;1 ;1.3**. Conclure.
4. Tracer avec Matlab le lieu des racines de G.
5. Quel est l'effet d'une variation de la valeur du gain K sur
   - Le gain G.
   - La phase φ.
   - La pulsation résonance.

-Université De M'sila-

-Département de Génie Electrique -

-Travaux Pratiques système asservi -

-Spécialité : Automatique –L2-

Responsable du Module : Dr. BENYOUNES Abdelhafid

TPN°5 : Stabilité des systèmes asservis linéaires

Durée:1h30m

I- Objectifs :

La stabilité est la qualité la plus importante que doit posséder le système asservi ,l'objective de ce TP est D'Etudie la stabilité des systèmes dans le domaine temporelle et le domaine fréquentielle

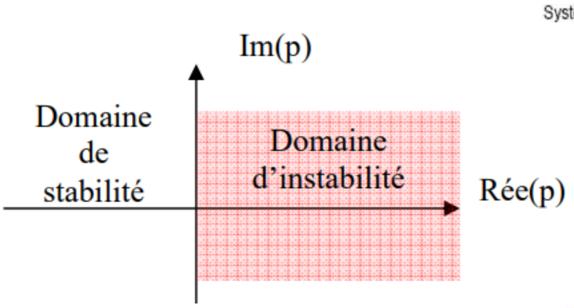
II- Conditions de stabilité des Systèmes linéaires:

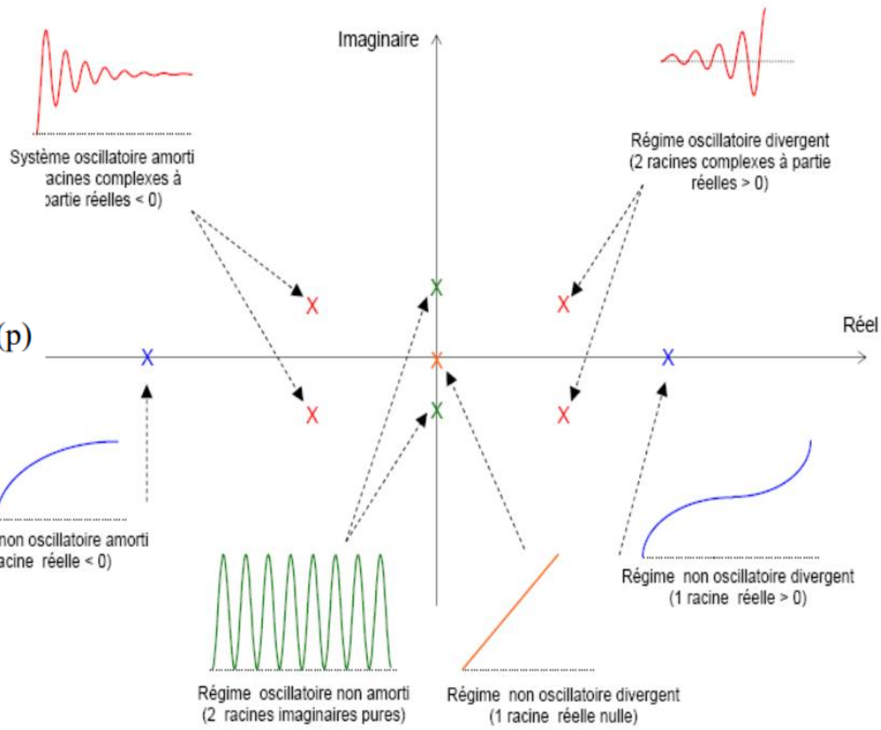
- **Domaine temporel**

Un système est stable si à une variation bornée du signal d'entrée correspond une variation bornée du signal de sortie. Une variation d'un signal est dite bornée lorsqu'elle est constante en régime permanent.

- **Domaine fréquentiel**

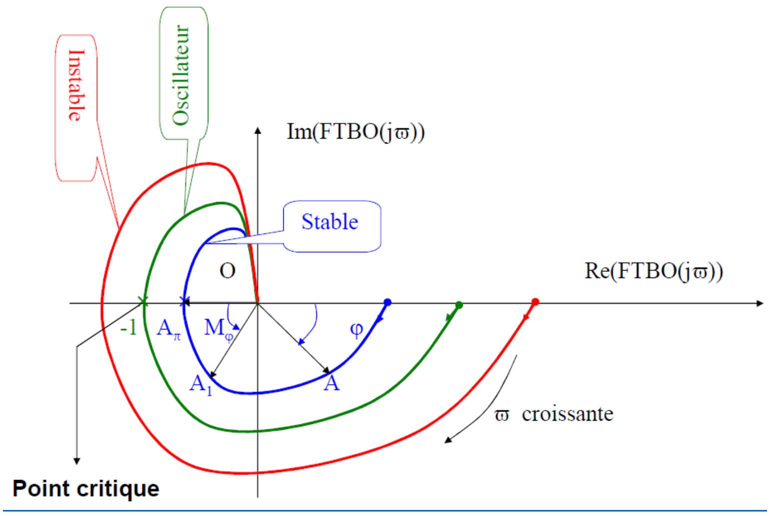
Un système asservi linéaire est stable si les parties réelles des pôles (solution de D(p) = 0) sont négatives. c.à.d. tous les pôles de sa fonction de transfert sont strictement à gauche de l'axe imaginaire dans le plan complexe.





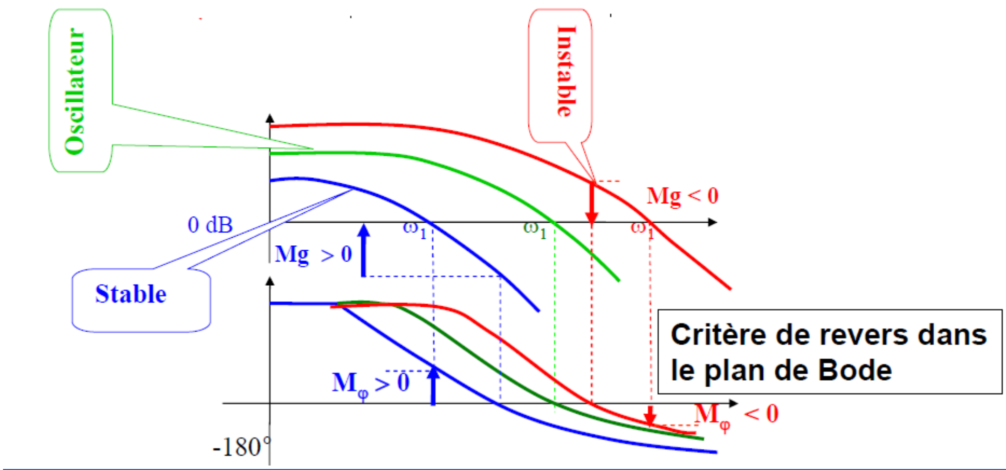
III. Critère géométrique de Nyquist (simplifié)- Critère de Rivers

Si en se déplaçant sur le lieu de nyquist du système en boucle ouverte dans le sens des ω croissants on laisse le point critique (-1, 0) à gauche le système en boucle fermée est stable



2. Critère de Rivers dans le plan de Bode

Un système stable en boucle ouverte est stable en boucle fermée ssi la courbe de gain de $T(j\omega)_{dB} = f(\omega)$ coupe l'axe des abscisses pour une phase φ (ω) >-180.



III Travail à faire

On considère les 3 systèmes suivants :

$$H1(p) = \frac{P-2}{(p+1)(p+2)} \qquad H2(p) = \frac{P-2}{(p+1)(p\,p^2+2)} \qquad H3(p) = \frac{P-2}{(p+1)(p+2)}$$

1. Tracer la réponse indicielle pour chaque système en boucle ouvert et fermée
2. Calculer et tracer les racines des polynômes caractéristiques D(p) en boucle fermée
3. Discuter la stabilité de ces systèmes.
4. Tracer le digramme de bode
5. Déterminer graphiquement la valeur de pulsation de coupeur
6. Calculer la marge de phase et de gain
7. Tracer le diagramme de nyquiste
8. Vérifier la stabilité_selon le critère de revers.

-Université De M'sila-

-Département de Génie Electrique -

-Travaux Pratiques système asservi -

-Spécialité : Licence Automatique –L2-

-Année 2019/2020-

Responsable du Module : Dr. BENYOUNES Abdelhafid

TP6 : Correction des Systèmes (Synthèse des correcteurs classiques)

Durée:1h30m

I- Objectifs :

1. Visualiser le comportement du système en utilisant Les différents correcteurs ou régulateurs :
   - Proportionnel **P**,
   - Proportionnel Intégral **PI**,
   - Proportionnel Intégral Dérivée **PID**
2. Comprendre le rôle de chaque action du régulateur.
3. Sélectionner le régulateur convenable qui donne les meilleurs performances du système de point de vu **stabilité, précision et rapidité**.

- **II - Introduction :**

  - Nous avons vu comment quantifier le comportement d'un système dans le dernier TP,

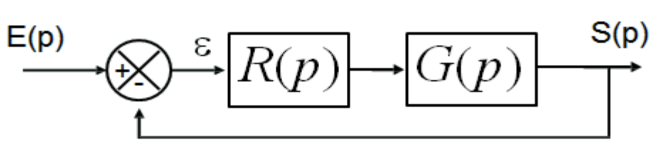
  L'amélioration des performances d'un système sont :

  - Un meilleur temps de montée,
  - Modifier l'amplitude du premier dépassement,
  - Minimiser, voir annuler l'erreur statique,
  - Avoir une meilleure stabilité en modifiant les marges de gain et de phase,

Néanmoins, la régulation des systèmes passent par la recherche du compromis : stabilité–rapidité–précision

- **Structure des correcteurs :**

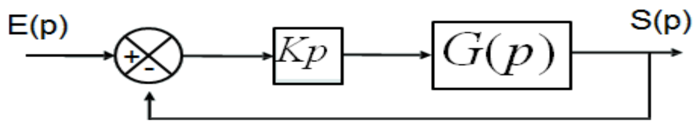
Dans la majorité des applications, ce sont des correcteurs séries sont mis en place. Chaque correcteur a ses caractéristiques propres. Le choix dépendra donc du résultat que nous voulons obtenir.



1- Correcteur proportionnel P : $R(p) = K_p$

Pour le régulateur proportionnel, l'erreur e sera multipliée par un gain de correction Kp.

Soit une commande : C = Kp *e

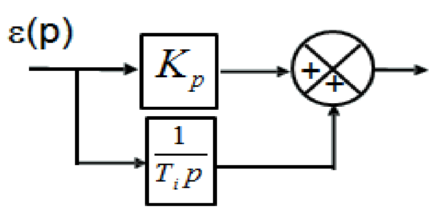


K_p **:** le gain de proportionnalité

1. Réaliser la simulation en boucle fermée du système suivant le schéma représenté, avec G(p) donné par la fonction de transfert du système du 2ème ordre suivant : $G(p) = \dfrac{2}{p^2 + 1.p + 1}$
2. On fait varier le gain de proportionnalité Kp = 1.... 10... 100.
3. Tracer les réponses du système et relever à chaque fois l'erreur statique ε.
4. Comparer le comportement du système (stabilité et précision) lorsque Kp varie.
5. Le système est-il précis (ε = 0) si on utilise un régulateur proportionnel**?**

2- Correcteur Proportionnel Intégral PI : $R(p) = K_p + \dfrac{1}{T_i p}$

Pour le régulateur proportionnel on a obtenu à la sortie du système un signal qui se stabilise après un temps de réponse, avec une erreur statique. Pour annuler l'erreur statique de façon efficace, nous allons ajouter l'action intégrale I, donnée par le temps d'intégration T_i .



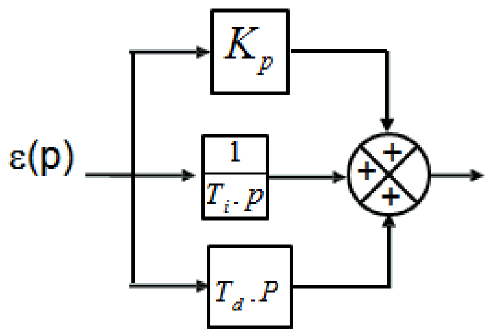
1. Fixer la valeur de $K_p = 10$ et varier la constante du temps de l'action intégrale

   $T_i = \dfrac{1}{K_i} = 0.01,\ 0.04,\ 0.1, 0.2, 0.5$
2. Tracer les réponses du système et relever à chaque fois l'erreur statique ε et le temps de réponse à 95%.

3. Comparer le comportement du système (stabilité, rapidité et précision) lorsque T_i varie. Le système est-il précis (ε = 0) si on utilise un régulateur PI?

3- Correcteur proportionnel intégral dérivé PID :

Les correcteurs PID se présente soit en série, soit en parallèle, ou mixte; On choisit le régulateur PID parallèle avec : $R(p) = K_p + \frac{1}{T_i p} + T_d P$



1. On fixe $K_p = 10$ et $T_i = 0.4$ et varier la constante du temps de l'action dérivé
   $T_d = K_d = 0.1, 0.2, 0.5, 1, 2$
2. Relever le temps de pic et le comparer avec les valeurs trouvées précédemment.
4. Tracer les réponses du système et relever à chaque fois le Dépassement $y_{\max}$,le temps de pic T_{pic} , le temps de monté T_m le temps de réponse à 95%.
5. Préciser le rôle de chaque action du régulateur PID et sélectionner le régulateur convenable pour que le système soit performant (stabilité, rapidité et précision).

III. Travail à faire

1-Exprimer la fonction de transfert d'un moteur à courant continu **(MCC)**

2- Refaire le même travail de ce TP pour la fonction de transfert du MCC.

3- On veut accélérer le système, quel paramètre doit être modifié ?

4. Quelle conclusion pouvez-vous faire sur les performances du régulateur PID et sur le réglage des paramètres du PID ?

Conclusion

À travers ce polycopié de travaux pratiques, les étudiants auront l'occasion de mettre en pratique leurs connaissances théoriques sur les systèmes asservis linéaires et continus. En participant activement aux exercices pratiques proposés, ils développeront une compréhension approfondie des concepts clés et acquerront des compétences précieuses pour la modélisation, l'analyse et la synthèse de ces systèmes.

L'expérience pratique acquise au cours de ces travaux pratiques sera un atout précieux pour les étudiants, qu'ils envisagent de poursuivre des études supérieures ou de s'engager dans une carrière professionnelle dans des domaines tels que l'ingénierie, l'automatisation ou le contrôle des systèmes.

Références :

1. "Automatic Control Systems" - Benjamin C. Kuo, Farid Golnaraghi; 2014 (9e édition).

2. "Modern Control Engineering" - Katsuhiko Ogata ; 2020 (6e édition).

3. **Feedback Control of Dynamic Systems"** - Gene F. Franklin, J. Da Powell, Abbas Emami-Naeini. 2018 (8e édition).

4. **"Control Systems Engineering"** - Norman S. Nise; 2020 (8e édition).

5. **"Control Tutorials for MATLAB and Simulink".** 2021 (dernière mise à jour).

6. **NPTEL Courses (National Programme on Technology Enhanced Learning)** 2022 (dernières vidéos ajoutées).

7. **"A Comprehensive Review on PID Controller Design and Applications" ;** A. Visioli. 2020, IEEE Xplore.

8. **"Frequency Response Analysis of Linear Systems in Control Engineering",** R. Dorf, 2019. Springer.

9. **"Stability Analysis of Feedback Control Systems: A Modern Perspective",** K. H. Johansson, 2021, Elsevier.

Résumé

Les systèmes asservis représentent un élément fondamental dans l'ingénierie moderne, s'étendant de l'automatisation industrielle à la robotique. Leur principe repose sur le contrôle automatique de grandeurs physiques comme la vitesse, la position ou la température via des mécanismes de rétroaction.

Le programme, conçu pour les étudiants de 2ème année Licence en Automatique, se structure en six travaux pratiques progressifs. Le TP1 pose les bases avec l'étude des fonctions de transfert et des schémas fonctionnels. Les TP2 et TP3 approfondissent les systèmes du premier et second ordre, analysant leurs caractéristiques dynamiques essentielles.

Le TP4 se concentre sur l'analyse fréquentielle, tandis que le TP5 aborde la cruciale question de la stabilité en boucle fermée. Le TP6 conclut avec la synthèse des correcteurs classiques pour optimiser les performances des systèmes.

La formation s'appuie sur des outils modernes comme MATLAB et Simulink, permettant une approche pratique à travers des simulations. Les applications concrètes incluent la commande des moteurs, les circuits électriques et les systèmes mécaniques, assurant un lien direct entre théorie et pratique.

Cette méthodologie d'apprentissage combine efficacement concepts théoriques et expérimentation pratique, développant des compétences solides en modélisation, analyse et conception des systèmes de contrôle.

Mots-clés :

- Systèmes asservis- Automatisation-- Travaux pratiques- Fonction de transfert- Analyse fréquentielle- Stabilité- Correcteurs- Modélisation

- Schémas fonctionnels- MATLAB- Simulink