TP I
Systèmes linéaires continus.
Réponse harmonique. Réponse indicielle.
Identification

1. Préambule

Il vous sera fourni en séance une « boîte », contenant chacune deux systèmes différents (deux sorties différentes par maquette). Ce sont ces deux systèmes qui seront à étudier lors de notre séquence de TP (4 séances en tout). Les systèmes vous sont donc inconnus.
Le but de notre séquence de TP est d'identifier ces systèmes puis de les asservir.
Chaque boîte porte un numéro. Chaque groupe gardera la même boîte pour tous les TP !

2. Réponse harmonique

Le but est de se familiariser avec la notion de réponse harmonique d'un système (*cf* : cours et TP d'électricité générale : cours sur les fonctions de transfert et diagrammes de Bode).

2.1. Travail préparatoire

Rappeler la définition d'une fonction de transfert. Que représentent son module et son argument ?
On souhaite tracer expérimentalement les diagrammes de Bode (ou de Black) du système étudié en utilisant un GBF (générateur basse fréquence) et un oscilloscope. Décrire le mode opératoire.
Avant de faire des mesures, il faut avoir une idée du type de fonction réalisée et du domaine de fréquence de travail (ordre de grandeur des fréquences de cassure). Proposer une méthode.
N.B. *: les mesures pour tracer le diagramme de Bode sont les mêmes que celles pour tracer le diagramme de Black. C'est uniquement la façon de représenter la fonction qui est différente.*

2.2. Travail expérimental

- Avant toute mesure, notez sur votre compte-rendu, le numéro de la maquette sur laquelle vous allez travailler.
- Brancher le générateur à l'entrée de la maquette et l'oscillo sur la $1^{ère}$ sortie.
- En vous aidant de ce qui a été fait en travail préparatoire :
    - déterminer la nature du système
    - un ordre de grandeur de la première cassure
- Faire les mesures nécessaires au tracé des diagrammes de Black et les consigner sous forme de tableau. Comment choisir les points de mesure ? On notera en particulier la fréquence de coupure à -3dB.
- Tracer le diagramme de Black du système (on réprésente le gain en fonction de l'argument)
- Au vu du tracé, quelle fonction réalise le système ?
- A partir du tracé, déterminer la marge de phase (écart en phase entre le point à -180° et la courbe lorsque le gain est nul (sur l'axe des abscisses)).
- Mêmes questions avec le deuxième système (deuxième sortie de la maquette).

3. Réponse indicielle. Réponse harmonique. Identification

Dans cette deuxième partie, on veut identifier les systèmes vus précédemment. Identifier signifie modéliser le système étudié, c'est-à-dire trouver ***une*** fonction de transfert (=un modèle) décrivant le comportement du système. Pour cela, nous allons effectuer un essai indiciel ou harmonique.

3.1. Travail préparatoire

- *Caractéristique statique* :

La caractéristique statique d'un système est la courbe donnant la sortie en fonction de l'entrée pour des signaux constants. Si le système est linéaire, quelle allure a cette caractéristique ?
Le domaine linéaire étant toujours limité, on parlera de domaine de linéarité pour définir la zone sur laquelle le système est linéaire.
Que représente la pente de la caractéristique dans la zone linéaire ?

- *Système du 1er ordre* :

Soit la fonction de transfert du 1er ordre $F_1(p) = \frac{A}{1+\tau p}$. Que représentent A et τ ?
- Dessiner l'allure de la réponse indicielle. Proposer une méthode permettant de déterminer, à partir de l'essai indiciel, les éléments caractéristiques de la fonction de transfert.
En pratique, on applique à l'entrée du système, non pas un échelon, mais un signal carré donc une succession d'échelons positifs et négatifs. Comment doit être choisie la demi-période du signal carré pour qu'on puisse visualiser le régime transitoire mais aussi le régime permanent ?
- Proposer une méthode pour mesurer A et τ à partir d'un essai harmonique.

- *Système du 2ème ordre* :

Soit la fonction de transfert du 2ème ordre $F_2(p) = \frac{A}{1+2m\frac{p}{\omega_0}+\left(\frac{p}{\omega_0}\right)^2}$. Que représentent A, m et ω_0 ?
- Dessiner l'allure de la réponse indicielle dans le cas où m>1 et m<1.
Dans le cas où m<1, proposer une méthode permettant, à partir de l'essai indiciel et des abaques, de déterminer les éléments caractéristiques de la fonction de transfert.
- Que vaut $\underline{F}_2(j\omega_0)$? Calculer son module et son argument. En déduire une méthode pour mesurer m et ω_0 à l'aide d'un essai harmonique.

3.2. Travail expérimental

Brancher le générateur à l'entrée de la maquette et l'oscillo sur la 1ère sortie.

3.2.1. Tracé de la caractéristique statique :

- Appliquer à l'entrée un signal constant (ou un signal carré de très faible fréquence de l'ordre du Hz).
- Mesurer la sortie lorsque celle-ci atteint son régime permanent (elle doit être constante puisqu'on se place en statique et que le système est stable).
- Répéter la même opération pour plusieurs valeurs d'entrée (5 ou 6 en tout).
- Tracer la caractéristique statique et en déduire le domaine de linéarité.
- Mesurer la pente de la caractéristique dans la zone linéaire.

3.2.2. Identification :

- Appliquer à l'entrée un signal carré.
- Ajuster la fréquence du signal d'entrée afin d'observer correctement le signal de sortie (c'est-à-dire le régime transitoire, mais aussi le régime permanent).
- En fonction de l'allure obtenue, proposer un modèle.
- ***Ne pas oublier d'enregistrer la courbe pour le compte-rendu !!! (en faisant apparaître les calibres des différentes voies, les curseurs et la date)***
- En vous aidant de ce qui a été fait en travail préparatoire, déterminer les élèments caractéristiques de la fonction de transfert.
- Comparer la valeur de A avec la pente de la caractéristique mesurée en 3.2.1. Conclusion.
- Avec un essai harmonique cette fois, retrouver les élèments caractéristiques du modèle.
- Mêmes questions avec le deuxième système (deuxième sortie de la maquette).

TP II
Asservissement des systèmes linéaires continus.
Calcul d'un correcteur

But

Le but de ce deuxième TP est de calculer un correcteur qui permettra d'asservir les systèmes vus dans les TP précédents suivant un cahier des charges.

Il faut veiller à prendre la maquette portant le même numéro que lors des précédentes séances.

On utilisera le logiciel de simulation simulink (boîte à outil de Matlab). L'utilisation du logiciel sera présentée en début de séance par l'enseignante.

Travail préparatoire

On souhaite asservir le système suivant le schéma ci-dessous :

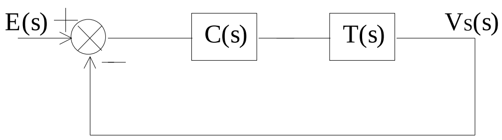


Figure 1

T(s) est le modèle du système à asservir, qui est composé de manière générale d'un amplificateur de puissance, du processus et d'un capteur délivrant une tension proportionnelle à la grandeur à asservir. Dans notre TP, T(s) représente le modèle de notre maquette simulant le système à asservir. Donc $T(s)=F_1(s)$ ou $F_2(s)$ (2 sorties sur notre maquette)

1°) ***On considère le système décrit par la fonction de transfert*** $\boldsymbol{T(s) = F_1(s) = \frac{A}{1+\tau s}}$ (1ère sortie de la maquette). Les valeurs numériques de A et de τ sont celles qui ont été mesurées lors de la séance précédente.

1.1. On utilise un correcteur proportionnel : C(s)=K>0

Calculer la fonction de transfert en boucle fermée. Déterminer ses éléments caractéristiques en fonction de K. En déduire l'erreur statique ainsi que le temps de réponse à 5% en fonction de K. Application numérique : K=1

1.1.1. Calculer la valeur à donner à K pour que le système admette une erreur statique égale à 10%, puis 1%. Pour ces valeurs de K, calculer le temps de réponse à 5%.

1.1.2. Calculer K pour avoir un système 5 fois plus rapide qu'en boucle ouverte. Que vaut alors l'erreur statique ? Même question avec un système 50 fois plus rapide.

1.2. On utilise un correcteur intégral : $\boldsymbol{C(s) = \frac{1}{T_i s}}$

T_i représente la constante de temps de l'intégral et est exprimée en secondes. Plus T_i est petite, plus l'intégration est rapide.

Calculer la fonction de transfert en boucle fermée et montrer qu'elle est du second ordre. Donner ses éléments caractéristiques en fonction de T_i.
1.2.1. Calculer l'erreur statique. Conclusion.

1.2.2. Comment évolue le coefficient d'amortissement en fonction de T_i ? En déduire, l'influence de T_i sur la dynamique du système, ainsi que le domaine de stabilité en fonction de T_i.

1.2.3. En utilisant les abaques, calculer T_i pour que la réponse indicielle en boucle fermée présente un dépassement de 5%. Pour cette valeur de T_i, calculer le temps de réponse à 5%.

2°) On considère le système décrit par la fonction de transfert $T(s) = F_2(s) = \frac{A}{1+2m\frac{s}{\omega_0}+\left(\frac{s}{\omega_0}\right)^2}$.
($2^{ème}$ sortie de la maquette). Les valeurs numériques de A, m et de ω_0 sont celles qui ont été mesurées lors de la séance précédente.

On utilise un correcteur proportionnel : C(s)=K>0
2.1. Calculer la fonction de transfert en boucle fermée et montrer qu'elle est du second ordre. Donner ses éléments caractéristiques en fonction de K. En déduire, l'influence de K sur la dynamique du système, ainsi que le domaine de stabilité en fonction de K.

2.2. Calculer la valeur à donner à K pour que le système admette une erreur statique égale à 10%, puis 2%. Pour ces valeurs de K et en utilisant les abaques, déterminer l'amplitude du 1^{er} dépassement et le temps de réponse à 5%.

Simulation

On va utiliser un logiciel de simulation nous permettant de visualiser la réponse de l'asservissement (figure 1) pour les différents correcteurs calculés dans les questions précédentes**.**

<u>Toutes les courbes seront enregistrées en vue de la rédaction du compte-rendu</u> (en veillant à ce qu'elles soient lisibles notamment en ce qui concerne les valeurs numériques des abscisses et des ordonnées).

3°) On considère le système décrit par la fonction de transfert $\boldsymbol{T(s) = F_1(s) = \frac{A}{1+\tau s}}$

3.1. On utilise un correcteur proportionnel C(s)=K>0.
Pour les valeurs de K trouvées en 1.1.1. et en 1.1.2., tracer la réponse indicielle de l'asservissement avec Simulink.
Dans chaque cas, mesurer l'erreur statique et le temps de réponse à 5%. Comparer aux valeurs attendues. ***<u>Conclusion.</u>***
Conclure quant à l'influence de K sur la précision statique et sur la dynamique du système.

3.2. On utilise un correcteur intégral : $\boldsymbol{C(s)=\frac{1}{T_i s}}$

3.2.1. Tracer la réponse indicielle du système pour $T_i=\tau$, $T_i=5\tau$ et $T_i=10\tau$. En déduire, l'influence de T_i sur la dynamique du système. Ce résultat est-il conforme à ce que l'on attendait ? Justifier.
Pour chaque cas, mesurer l'erreur statique, l'amplitude du 1er dépassement et le temps de réponse à 5%.
Pour ces 3 valeurs de T_i, tracer à l'aide de Matlab, le diagramme de Black de la FTBO et mesurer la marge de phase. ***Conclusion***.
(commande Matlab : T=tf([coeff num],[coeff den]) puis nichols(T))
3.2.2. Pour la valeur de T_i trouvée en 1.2.3., tracer la réponse indicielle de l'asservissement avec Simulink.
Mesurer l'erreur statique, l'amplitude du 1er dépassement et le temps de réponse à 5%. Comparer aux valeurs attendues. ***Conclusion.***
Comparer les performances du correcteur proportionnel à celles du correcteur intégral.

4°) On considère le système décrit par la fonction de transfert $T(s)=F_2(s)=\frac{A}{1+2m\frac{s}{\omega_0}+\left(\frac{s}{\omega_0}\right)^2}$.

4.1. On utilise un correcteur proportionnel C(s)=K>0.

Pour les valeurs de K trouvées en 2.2., tracer la réponse indicielle de l'asservissement avec Simulink.
Dans chaque cas, mesurer l'erreur statique, l'amplitude du 1er dépassement et le temps de réponse à 5%. Comparer aux valeurs attendues. ***Conclusion.***
Conclure quant à l'influence de K sur la précision statique et sur la dynamique du système. Est-ce conforme à ce que l'on attendait ? Justifier.
Que peut-on dire ici de la dynamique obtenue ? Vous semble-t-elle satisfaisante ?

4.2. On utilise un correcteur intégral : $\boldsymbol{C(s)=\frac{1}{T_i s}}$

Tracer la réponse indicielle du système pour $T_i=\frac{20}{\omega_0}$, $T_i=\frac{10}{\omega_0}$, $T_i=\frac{5}{\omega_0}$et $T_i=\frac{1}{\omega_0}$. En déduire, l'influence de T_i sur la dynamique du système. Ce résultat est-il conforme à ce que l'on attendait ? Justifier.
Dans chaque cas, mesurer l'erreur statique, l'amplitude du 1er dépassement et le temps de réponse à 5%.
Pour ces 4 valeurs de T_i, tracer à l'aide de Matlab, le diagramme de Black de la FTBO et mesurer la marge de phase. Conclusion.
(commande Matlab : T=tf([coeff num],[coeff den]) puis nichols(T))

TP III
Asservissement des systèmes linéaires continus.

Le but de ce dernier TP est de mettre en œuvre les correcteurs calculés dans le TP précédent, de vérifier si le cahier des charges est bien respecté et si le modèle est valable.
Il faut veiller à prendre la maquette portant le même numéro que lors des précédentes séances*. *En arrivant en TP, toutes les simulations du TPn°2 seront faites ! Et vous les aurez avec vous évidemment….Tous les essais seront enregistrés ((en faisiant apparaître les calibres des différentes voies, les curseurs et la date)
Les correcteurs ainsi que le comparateur seront câblés sur plaquette électronique.

Travail préparatoire

On souhaite asservir le système suivant le schéma ci-dessous :

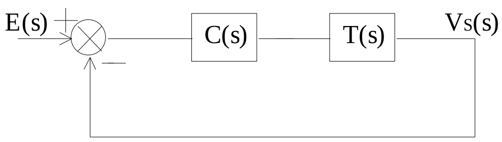
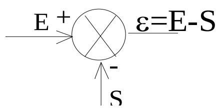


Figure 1

T(s) est le modèle du système à asservir, qui est composé de manière générale d'un amplificateur de puissance, du processus et d'un capteur délivrant une tension proportionnelle à la grandeur à asservir. Dans notre TP, T(s) représente la maquette (Vs est donc l'une des 2 sorties de notre maquette).

En automatique, le comparateur est représenté par le symbole suivant :



La consigne (E) est comparée à la sortie mesurée (S). Le signal d'erreur $\varepsilon = E - S$ nous donne l'écart entre la sortie souhaitée et la sortie réellement obtenue. Un des buts des asservissements est de minimiser cet écart, voire de l'annuler.

En pratique un comparateur est obtenu à l'aide d'un circuit électronique. Donner le schéma d'un comparateur à ampli. Op. (En électronique, il s'agit tout simplement d'un soustracteur). Chercher également le schéma à AOP d'un correcteur proportionnel et d'un correcteur intégral.

Travail expérimental

On va mettre en œuvre tous les correcteurs calculés dans le TP précédent (ils ont tous été simulés)

1°) On considère la 1ère sortie de la maquette (système décrit par le modèle $T(s) = F_1(s) = \frac{A}{1+\tau s}$). Les valeurs numériques de A et de τ sont celles qui ont été mesurées lors du TP n°1.
Câbler le comparateur et réaliser l'asservissement de la figure 1 avec C(s)=1 (c'est un fil !) et V_s la 1ère sortie de la maquette.
Visualiser à l'oscilloscope et enregistrer la réponse indicielle (entrée créneau de fréquence adaptée). Mesurer le gain statique et le temps de réponse à 5%. Est-ce conforme à ce qui a été calculé dans le TP2 ? ***Conclusion***.

1.1. On utilise un correcteur proportionnel : C(s)=K>0

Pour les valeurs de K trouvées dans les questions 1.1.1. et 1.1.2. du TP2, câbler le correcteur et l'insérer dans la boucle d'asservissement.
Visualiser à l'oscilloscope et enregistrer la réponse indicielle de l'asservissement.

Dans chaque cas, mesurer l'erreur statique, l'amplitude du 1er dépassement et le temps de réponse à 5%. Comparer aux valeurs attendues. L'allure de la réponse correspond-elle à la réponse simulée ? ***Conclusion.***
Conclure quant à l'influence de K sur la précision statique et sur la dynamique du système.

1.2. On utilise un correcteur intégral : $C(s) = \frac{1}{T_i s}$

1.2.1. Câbler le correcteur intégral pour $T_i = \tau$ et l'insérer dans l'asservissement à la place du correcteur proportionnel (***Attention !*** ne pas décâbler le correcteur proportionnel, on le réutilisera par la suite).
Visualiser à l'oscilloscope et enregistrer la réponse indicielle. Mesurer l'erreur statique, l'amplitude du 1er dépassement et le temps de réponse à 5%. Comparer aux valeurs attendues.
L'allure de la réponse correspond- elle à la réponse simulée ? ***Conclusion.***
Recommencer avec $T_i = 5\tau$ et $T_i = 10\tau$.
Comparer les 3 réponses. En déduire l'influence de T_i sur la dynamique du système. Ce résultat est-il conforme à ce que l'on attendait ?

1.2.2. Pour la valeur de T_i trouvée dans la question 1.2.3. du TP2, visualiser et enregistrer la réponse indicielle de l'asservissement.
Mesurer l'erreur statique, l'amplitude du 1er dépassement et le temps de réponse à 5%. Comparer aux valeurs attendues. L'allure de la réponse correspond-elle à la réponse simulée ? ***Conclusion.***
Comparer les performances du correcteur proportionnel à celles du correcteur intégral.

2°) On considère la 2ème sortie de la maquette (système décrit par le modèle $T(s) = F_2(s) = \frac{A}{1+2m\frac{s}{\omega_0}+\left(\frac{s}{\omega_0}\right)^2}$. Les valeurs numériques de A, m et ω_0 sont celles qui ont été mesurées lors du TP1.
Dans l'asservissement précédent, remplacer la 1ère sortie de la maquette par la 2ème.

2.1. On utilise un correcteur intégral : $C(s) = \frac{1}{T_i s}$

Régler cette fois $T_i = \frac{20}{\omega_0}$, visualiser à l'oscilloscope et imprimer la réponse indicielle. L'allure de la réponse correspond-elle à la réponse simulée ?
Mesurer l'erreur statique, l'amplitude du 1er dépassement et le temps de réponse à 5%. Comparer aux valeurs mesurées sur les courbes simulées. ***Conclusion***.

Recommencer avec $T_i = \frac{10}{\omega_0}$, $T_i = \frac{5}{\omega_0}$ et $T_i = \frac{1}{\omega_0}$.
Comparer les 4 réponses. En déduire l'influence de T_i sur la dynamique du système. Ce résultat est-il conforme à ce que l'on attendait ? Justifier.

2.2. On utilise un correcteur proportionnel C(s)=K>0.

On réutilise cette fois le correcteur P câblé précédemment. On l'insère dans la boucle à la place du correcteur I.
Pour les valeurs de K trouvées dans la question 2.2. du TP2, visualiser et imprimer la réponse indicielle de l'asservissement. Dans chaque cas, mesurer l'erreur statique, l'amplitude du 1er dépassement et le temps de réponse à 5%. Est-ce conforme à ce que l'on attendait ? Comparer la réponse obtenue à la réponse simulée. ***Conclusion.***
Conclure quant à l'influence de K sur la précision statique et sur la dynamique du système. Est-ce conforme à ce que l'on attendait ? Justifier.
Que peut-on dire ici de la dynamique obtenue ? Vous semble-t-elle satisfaisante ?