

Ba3 – Oral d'Automatique – Questions – 2016-2017

Etudiant 1

1) On a une BF formée par un régulateur proportionnel de gain k_p et un système réglé de fonction de transfert $G(p)=1/(p+1)*(p+2)*(p+3)$.

a) Pour quelles valeurs de k_p la BF est-elle stable ?

- Expliquer la notion de stabilité EBSB et stabilité asymptotique
- Utiliser le critère de Routh, qui permet de déterminer la stabilité asymptotique de la BF

b) Soit une entrée $r(t) = a*v(t)$ ($v(t)$ = fonction d'Heaviside), vers quelle valeur va tendre la sortie $y(t)$, sachant que le gain k_p du régulateur est tel que la BF est stable ?

- Calculer la fonction de transfert entre la sortie et l'entrée, donc la fonction de transfert de la boucle fermée, c'est-à-dire $T(p)=D(p)*G(p)/1+D(p)*G(p)$
- $Y(p) = T(p)*R(p)$ donc, avec $R(p) = a/p$ ici au vu de la forme temporelle de l'entrée
- Pour trouver la valeur vers laquelle va tendre la sortie $y(t)$, on utilise le théorème de la valeur finale (bien montrer pourquoi il est applicable ici, donc mentionner que le gain k_p est tel que la BF est stable)
- Ensuite il va sûrement demander si la valeur vers laquelle $y(t)$ tend est satisfaisante, et ce n'est pas le cas car $y(t)$ ne tend pas vers la valeur imposée à l'entrée. Explication : pas de pôle à l'origine dans la fonction de transfert $D(p)G(p)$ donc forcément système de type 0 vis-à-vis du suivi de trajectoire et donc erreur statique constante pour une entrée en échelon.

c) Quelle est la fonction de transfert entre $U(p)$ et $R(p)$, et quelle est l'utilité de celle-ci ?

- $U(p) = k_p*R(p)/1+D(p)*G(p)$
- Utilité : permet d'avoir accès au signal réglant $u(t)$, donc permet de visualiser si pour une certaine entrée on a saturation des actionneurs

2) On a une BF formée par un régulateur de gain $k_p=3$ et un système réglé $G(p)=1/(1+2p)*(p/2 +1)*(p+1)$, on fournit les courbes de Bode de la BO càd de $D(jw)*G(jw)$.

a) Définir la MG et la MP, et calculer MG et MP à partir des courbes de Bode de la BO.

- Comme $D(p)*G(p)$ stable \rightarrow transmittance isochrone $D(jw)*G(jw)$ existe
- Définir w_{180} et w_c (voir cours)

- Indiquer sur le graphique comment trouver MG et MP (voir cours ou labo)
- Expliquer pourquoi la MG et MP sont utiles : il est possible qu'il y ait des temps morts et délais que l'on a pas pu prendre en compte lors de la modélisation, et ceux-ci donnent naissance à un déphasage additionnel dans la fonction de transfert de la BO : $\text{délai} \rightarrow x(t-L) \rightarrow X(p) \cdot e^{-pL} \rightarrow \arg(X(j\omega)) - \omega L$. Ce déphasage peut rendre la BF instable, donc il est important de se donner une certaine marge de phase. Ensuite, il est possible que l'on ait fait des erreurs lors de la modélisation du système réglé, et qu'en fait $G(p) \rightarrow a \cdot G(p)$. Ce gain additionnel lié à une erreur de modélisation peut rendre la BF instable donc, il est important de se donner une certaine marge de gain.

b) On veut changer l'erreur statique de la BF présentée dans l'énoncé sans modifier la MP, quel type de régulateur faut-il utiliser ?

- Régulateur à retard de phase
- Donner sa fonction de transfert
- Expliquer pourquoi on dit à « retard » de phase (calculer $\arg(Dj\omega)$ pour cela)
- Expliquer comment faire en sorte de ne changer que l'erreur statique et pas la MP avec ce régulateur (voir cours, fin du chapitre sur les méthodes harmoniques)

c) Donner le tracé asymptotique des courbes de Bode de ce régulateur

- Assez simple

d) Quel est le gain minimal du régulateur à retard de phase nécessaire pour avoir une erreur statique ≤ 0.1 pour une entrée $r(t)=v(t)$ (fonction d'Heaviside)

- Refaire le schéma de la BF, avec $D(p) = k_c \cdot (1+pT)/(1+pT \cdot a)^3$ et $G(p)$ de l'énoncé, ne pas oublier le 3 dans la fonction de transfert de $D(p)$, car on ajoute le régulateur à retard de phase à la BF présentée dans l'énoncé, donc la BF avec $D(p)=3$
- Calculer $E(p)$, l'erreur de réglage
- Définir l'erreur statique $e_s = \lim_{t \rightarrow \infty} e(t)$
- Utiliser le théorème de la valeur finale pour calculer e_s
- $e_s = \lim_{p \rightarrow 0} p \cdot E(p) = 0.1$ (pour avoir le gain minimal du régulateur nécessaire pour avoir $e_s \leq 0.1$) et on trouve la valeur de k_c

Etudiant 2

1) Modèle en variables d'état avec $A=(\alpha \ 0; \ 0 \ -1)$, $B=(0; \ 1)$, $C=(1 \ 1)$ et $D=0$:

- a) Sous quelle condition le système est-il asymptotiquement stable? Définir la stabilité asymptotique, et la condition est que les valeurs propres doivent être

à partie réelle négative donc $\text{Re}(\alpha) < 0$.

- b) Ce système est-il observable? Si non, quelle est la valeur propre inobservable? Calculer la matrice d'observabilité, voir que son rang est < 2 si $\alpha + \beta = -1$. On trouvera la valeur propre associée au point c).
- c) Ce système est-il gouvernable? Si non, quelle est la valeur propre ingouvernable? Matrice de gouvernabilité, rang < 2 donc d'office ingouvernable. Comment trouver les valeurs propres associées? 2 approches:

Calculer la fonction de transfert et voir qu'il y a une simplification du terme $(p - \alpha)$ donc on a l'intuition que c'est α . Pour vérifier, passer en forme modale (je sais pas s'il fallait faire tout le calcul mais je l'ai fait pcq j'avais le temps), et on voit que la matrice B_d a un terme nul pour l'état x_{d1} correspondant à α donc l'entrée $u(t)$ n'agit pas sur x_{d1} donc c'est bien α qui pose problème. Donc α correspond dans tous les cas à un état ingouvernable, et en plus si $\alpha + \beta = -1$ alors ce même état est inobservable, ça se voit dans l'équation de $y(t)$ en forme modale, à ce moment le coefficient de C_d multipliant x_{d1} est nul.

Questions subsidiaires:

- Qu'est-ce que la gouvernabilité et l'observabilité? Si on a un système observable et qu'on veut trouver un autre état que l'état initial, de quoi a-t-on besoin? On n'a plus besoin de la sortie, il faut juste connaître l'état initial et l'entrée, car $x(t) = \exp(At)x_0 + \int_0^t \exp(A(t-\tau))u(\tau)d\tau$.
- Ensuite il m'a demandé de dessiner le schéma d'une boucle fermée, d'expliquer son utilité et en particulier concernant la sensibilité aux erreurs de modélisation. Que faut-il faire pour réduire l'impact d'une erreur de modélisation? Augmenter le gain du régulateur car la sensibilité vaut $1/(1+GD)$ en BF.
- Quel est l'inconvénient d'augmenter trop le gain du régulateur? On diminue l'amortissement, on peut devenir instable, à haute fréquence on ne diminue pas le bruit de mesure, mais surtout ça peut induire **la saturation des actionneurs**.
- Il m'a demandé de faire le lien avec la dernière séance de labo donc relisez-la.

2) Régulateur à avance de phase:

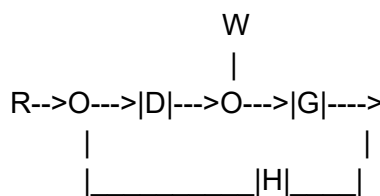
- a) Donner sa fonction de transfert et justifier: j'ai mis la condition $\alpha < 1$ et T appartenant aux réels positifs, j'ai expliqué pourquoi c'est une avance de phase avec l'argument, puis j'ai dessiné les pôles et Bode.
- b) Passer en z avec la méthode de Tustin. Expliquer que $zU(z)$ donne $u(k+1)$
- c) Trouver l'équation récurrente.
- d) Dessiner le schéma d'une BF avec régulation numérique: j'ai dessiné les signaux à chaque étape.

Questions subsidiaires:

- Comment on code l'équation récurrente: expliquer qu'on initialise d'abord tout (partie hors ligne), c'est-à-dire $u(0)$ **et** $e(0)$, car même si au début il n'y a pas encore de rétroaction il faut donner une valeur d'erreur au régulateur, et mettre cette valeur très faible ou nulle, donc à l'équilibre ou très proche. Ensuite expliquer le processus en ligne, c-à-d celui qui se répète à chaque période d'échantillonnage.
- A quoi sert le filtre anti-repli: expliquer, et le gros inconvénient et que comme il a des pôles ça induit un déphasage (expliquer avec Bode par exemple) et donc ça peut diminuer la marge de phase et on peut devenir instable.
- Quel est le problème avec le convertisseur numérique/analogique? Il prolonge le signal discrets par petits bouts donc la courbe est décalée de $T_s/2$ → $\exp(-T_s/2)$ → déphasage de $\omega T_s/2$. On ajoute à ça le temps de calcul $T_s/2$ et on a un déphasage total de ωT_s , donc on doit réguler $G(p) \cdot \exp(-p T_s)$. Quel est l'inconvénient de ça? Ça décale toute la courbe de phase vers le bas donc ça diminue la marge de phase: par exemple si notre marge de phase vaut α , la marge de phase avec déphasage vaut donc $\alpha - \omega_c T_s/2$, car on lit la marge de phase à la pulsation de crossover donc en $\omega = \omega_c$.

Etudiant 3 (je sais ce n'est pas propre désolé)

Question 6 : Boucle fermée DGH ($H = 1$)



a) erreur statique vis à vis d'une entrée $r(t) = \alpha \cdot u(t)$

$$E = 1/(1+GD) \cdot R \rightarrow \text{TVF}$$

b) erreur statique vis à vis d'une perturbation $w(t) = \beta \cdot t \cdot u(t)$

$$E = -G/(1+GD) \cdot W \rightarrow \text{TVF}$$

c) comment on détermine $y(t)$ si à l'entrée il y a $r(t) = 3\sin(2t)$ ($= A\sin(\omega_0 t)$)

$$y(t) = A|H(j\omega_0)|\sin(\omega_0 t + \arg(H(j\omega_0)))$$

$$A = 3$$

$$\omega_0 = 2$$

Expliquer qu'on obtient A et $\arg(H(j\omega_0))$ expérimentalement et comparant le signal d'entrée et le signal de sortie (facteur d'amplitude et valeur de déphasage entre les deux)

Question 4 : Bode

On reçoit les courbes de Bode d'un système $D(p)G(p)$

$$D(p) = kp$$

$G(p)$ n'est pas donné

Gain : On remarque que la pente de -20dB/dec qd $w \rightarrow 0$ et passe à -40dB/dec en $w = 1$

Déphasage : le déphasage sur Bode commence à -90° et passe à -180° en $w = 1$

a) Y a-t-il un/des pôle(s) à l'origine ?

Oui, il y en a un, justifier avec les courbes de Bode

b) Déterminer marge de phase et de gain sur les courbes de Bode

Et évidemment : expliquer ces concepts et je pense qu'il veut aussi voir qu'on peut comprendre et interpréter avec Nyquist (donc tracer Nyquist associé)

c) Certaines spécificités montrent qu'on doit utiliser un régulateur à avance de phase, tracer les courbes de Bode de ce régulateur

Cette question demande de développer les concepts théoriques derrière la conception d'un tel régulateur ainsi que la méthode utilisée

Il demande aussi où (à quelle fréquence) au niveau des courbes de Bode qu'il fournit au début et pourquoi à cet endroit

Notes :

je ne sais pas si il y a un tas "QUESTIONS1" et un tas "QUESTIONS2" mais si c'est le cas, j'ai bien eu la question 6 du tas "QUESTIONS1" et la 4 du tas "QUESTIONS2".

Le numéro de la question est tirée dans une enveloppe avec des sortes de pièces sur lesquelles sont notés des numéros.

Et bien sûr, pour les réponses que je fournis ici, on n'est pas à l'abri d'une éventuelle erreur.

Bonne chance :)