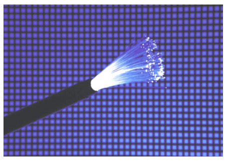


TP n°20 : représentation de Nyquist et de Bode des fonctions de transfert des systèmes. Application à l'étude de la stabilité des systèmes bouclés.

➔ <u>But du TP</u> : le but de ce TP de seconde année est l'étude et l'utilisation de deux représentations des fonctions de transfert des systèmes linéaires : diagramme de Bode et représentation de Nyquist. La première représentation est connue et on s'attachera à bien comprendre la représentation de Nyquist. L'étude sera faite sur trois systèmes du premier, second et troisième ordre. On fera l'étude en régime sinusoïdal à l'aide du logiciel LTSpice IV et on comparera les résultats de la simulation aux résultats théoriques. Enfin, on se servira de ces représentations pour étudier la stabilité de deux systèmes en boucle fermée.

1) Présentation de la représentation de Nyquist.

<u>Considérons un système décrit par</u> :

$$\underline{E}(j\omega) \longrightarrow \boxed{\underline{H}(j\omega)} \longrightarrow \underline{S}(j\omega)$$

Pour la fonction de transfert complexe $\underline{H}$(jw), on peut donner deux écritures :

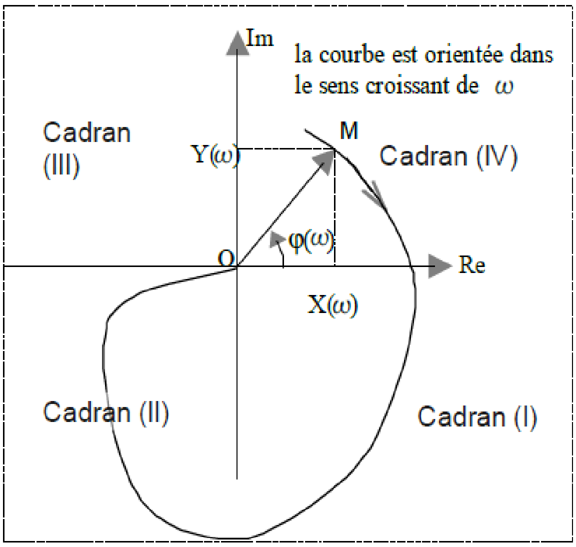
→ $\underline{H}(j\omega)=H(\omega)\cdot e^{j\varphi(\omega)}$ expression dans laquelle H(ω) représente le module de $\underline{H}$(jω) et $\varphi(\omega)$ son argument.

→ $\underline{H}(j\omega)=X(\omega)+j\cdot Y(\omega)$ expression dans laquelle X(ω) et Y(ω) représentent respectivement la partie réelle et la partie imaginaire de $\underline{H}$(jω).

On passe facilement d'une expression à une autre en écrivant :

X(ω) =H(ω).cos(φ(ω)) et Y(ω) = H(ω).sin(φ(ω))

Le diagramme de Nyquist traduit l'évolution de la fonction de transfert $\underline{H}$ dans le plan complexe, alors que le diagramme de Bode représente l'évolution de G = 20.log(H(ω)) et de φ(ω) en fonction de log(f).



A une pulsation ω donnée, la longueur du vecteur $\overrightarrow{OM}$ représente le module de $\underline{H}$ et l'angle entre le vecteur $\overrightarrow{OM}$ et l'axe des réels représente l'argument de $\underline{H}$.

Le diagramme de Nyquist de $\underline{H}$(jω) est donc le lieu des points parcourus par le vecteur $\overrightarrow{OM}$ de composantes X(ω) et Y(ω) dans le plan complexe quand la pulsation ω varie.

Cette représentation a l'avantage de donner sur un seul graphique des indications sur le module et la phase de la fonction de transfert. L'inconvénient majeur, c'est la perte de l'information sur la pulsation (ou la fréquence). C'est pour cela qu'il est utile d'orienter la courbe est de placer les points remarquables (fréquence propre, fréquence centrale…etc.)

2) Analyse par la simulation des trois réponses fréquentielles.

Lancer le logiciel "bode_nyquist2011" qui permet la réponse fréquentielle de trois systèmes :

- ➔ un système passe-bas du premier ordre de fonction de transfert :

$$H_{PB1}(p) = \frac{V_{PB1}(p)}{Ve(p)} = \frac{T_0}{1+\frac{p}{\omega_0}}$$

- ➔ un système passe-bas du second ordre de fonction de transfert :

$$H_{PB2}(p) = \frac{V_{PB2}(p)}{Ve(p)} = \frac{T_0}{1+2.m.(\frac{p}{\omega_0})+(\frac{p}{\omega_0})^2}$$

- ➔ un système passe-bas du troisième ordre de fonction de transfert :

$$H_{PB3}(p) = \frac{V_{PB3}(p)}{Ve(p)} = \frac{T_0}{1+2.m.(\frac{p}{\omega_0})+(\frac{p}{\omega_0})^2} \times \frac{T'_0}{1+\frac{p}{\omega'_0}}$$

Lancer la simulation et représenter sur trois courbes distinctes les diagrammes de Bode des trois fonctions de transfert.
Valider théoriquement les courbes en remplissant le tableau ci-dessous :

	Équivalent de H en BF	Valeur de H(ω) en BF	Valeur de φ(ω) en BF	Équivalent de H en HF	Valeur de H(ω) en HF	Valeur de φ(ω) en HF	Asymptote
$H_{PB1}(p)$							
$H_{PB2}(p)$							
$H_{PB3}(p)$							

Retrouver tous ces paramètres sur les courbes de la simulation.

Représentation de Nyquist : pour activer cette représentation au lieu de la représentation de Bode, positionner la souris dans la partie gauche de l'écran et faites un clic gauche.

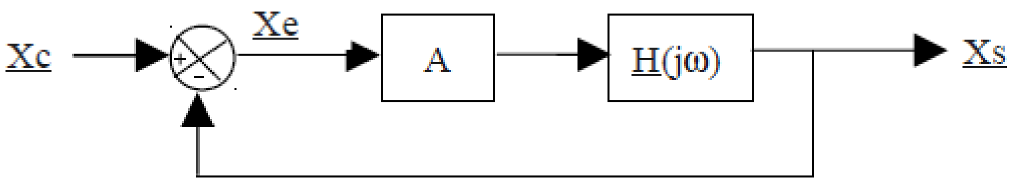
Orienter les courbes dans le sens des fréquences croissantes en se servant du tableau ci-dessus et en remplissant le tableau ci-dessous :

	X(ω) en BF	Y(ω) en BF	X(ω) en HF	Y(ω) en HF
$H_{PB1}(p)$				
$H_{PB2}(p)$				
$H_{PB3}(p)$				

Retrouver quelques points particuliers du diagramme de Bode et placer ces points sur la représentation de Nyquist. Placer en particulier le point -1 (module = 1 et argument = -180°) sur les trois diagrammes.

3) Application à l'étude de la stabilité des systèmes bouclés.

On considère le système bouclé suivant :



H(j.ω) est une des trois fonctions préalablement définies et A est un coefficient multiplicatif.

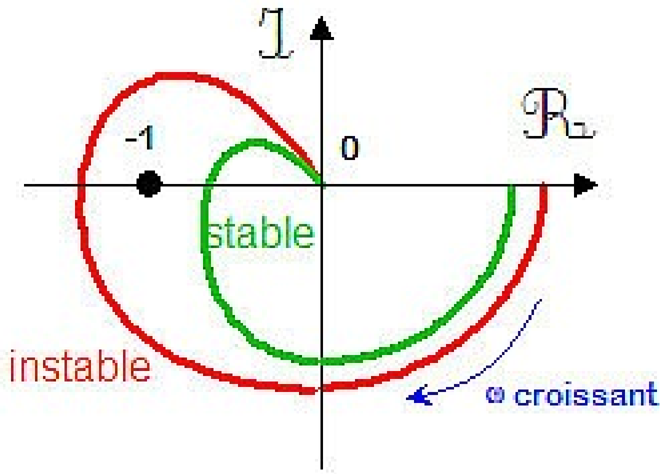
a) Condition de stabilité d'un système bouclé :

Rappeler l'expression théorique de la fonction de transfert en boucle ouverte FTBO et de la fonction de transfert en boucle fermée FTBF en fonction de A et de H.
En déduire la condition d'instabilité : "il existe une pulsation ω telle que : A.H = -1."

Traduire cette condition sur le digramme de Bode et sur la représentation de Nyquist.

En fait, on montre que le système est stable si et seulement si :

- avec le diagramme de Bode : à la pulsation où $\varphi(\omega)$ = -180°, le gain $G(\omega)$ < 0 dB.
- Avec la représentation de Nyquist : la courbe passe à droite du point -1.



Avec les représentations de Nyquist tracées au 2°), préciser si les trois systèmes décrits par les fonctions de transfert $H_{PB1}(p)$, $H_{PB2}(p)$ et $H_{PB3}(p)$ donneront des systèmes stables en boucle fermée.

Tracer alors la représentation de Nyquist du système décrit par $H_{PB3}(p)$ en changeant le paramètre $T_0' = 5$ en $T_0' = 10$. On appellera ce nouveau système $H_{PB4}(p)$.
Ce système sera-t-il stable en boucle fermée ?

b) Réponses indicielles en boucle fermée avec le paramètre A à 1 :

On veut vérifier que les trois premiers systèmes $H_{PB1}(p)$, $H_{PB2}(p)$ et $H_{PB3}(p)$ sont stables et que le système $H_{PB4}(p)$ est instable. Pour cela, on trace la réponse indicielle du système en boucle fermée.
Lancer le fichier "stabilite2011.asc". Tracer la réponse indicielle en boucle fermée des systèmes décrits par $H_{PB1}(p)$, $H_{PB2}(p)$ et $H_{PB3}(p)$ sur trois graphes différents et en représentant à chaque fois l'échelon d'entrée (consigne).

Donner la forme des trois signaux réponses.
Mesurer précisément le temps de réponse à 5% et la valeur finale des trois réponses.
Calculer alors l'écart entre la valeur finale et l'échelon unitaire et en déduire la précision de chaque système.

Valider alors l'affirmation suivante : « Pour la réponse indicielle du système bouclé, le régime transitoire est d'autant plus oscillatoire que la représentation de Nyquist passe le plus près du point -1 ».

Changer les paramètres du système $H_{PB3}(p)$ pour obtenir le système $H_{PB4}(p)$ et reprendre l'opération. Que se passe-t-il ?

c) Influence du paramètre A sur les réponses indicielles en boucle fermée :

Changer à nouveau les paramètres du système $H_{PB4}(p)$ pour obtenir le système $H_{PB3}(p)$ et modifier la valeur de A (prendre A = 5 par exemple). Lancer à nouveau le logiciel "stabilite2011.asc" et visualiser les trois réponses indicielles.
Valider alors l'affirmation suivante : "insérer une amplification dans un système bouclé améliore la rapidité et la précision mais peut amener une instabilité."