



C7 : Analyse fréquentielle des systèmes asservis

C7-3 : Analyse fréquentielle des systèmes asservis : applications

Émilien DURIF

Lycée La Martinière Monplaisir Lyon
Classe de MPSI
8 Avril 2025



Plan

- 1 **Combinaison des diagrammes de Bode élémentaires**
 - Caractérisation d'une fonction de transfert complexe
 - Méthodologie de tracé des fonctions de transferts complexes
- 2 **Application à l'exemple de la suspension d'un véhicule**
 - Décomposition de la fonction de transfert
 - Construction du diagramme de Bode de $H_1(j\omega)$
 - Calcul et classement des pulsations de cassure
 - Construction du diagramme de Bode complet
 - Caractérisation fréquentielle paramétrée de la suspension automobile
 - Interprétation temporelle d'une étude fréquentielle
- 3 **Autres types de lieux de transfert**
 - Diagramme de Nyquist
 - Diagramme de Black
- 4 **Conclusion**



Plan

- 1 **Combinaison des diagrammes de Bode élémentaires**
 - Caractérisation d'une fonction de transfert complexe
 - Méthodologie de tracé des fonctions de transferts complexes
- 2 **Application à l'exemple de la suspension d'un véhicule**
 - Décomposition de la fonction de transfert
 - Construction du diagramme de Bode de $H_1(j\omega)$
 - Calcul et classement des pulsations de cassure
 - Construction du diagramme de Bode complet
 - Caractérisation fréquentielle paramétrée de la suspension automobile
 - Interprétation temporelle d'une étude fréquentielle
- 3 **Autres types de lieux de transfert**
 - Diagramme de Nyquist
 - Diagramme de Black
- 4 **Conclusion**



Caractérisation d'une fonction de transfert complexe

Fonction de transfert complexe

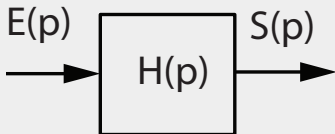
On cherche à étudier dans le domaine fréquentiel un phénomène physique ou un composant. On considère alors la fonction de transfert reliant deux grandeurs physiques (d'entrée $e(t)$ et de sortie $s(t)$) qu'on pourra mettre dans la plupart des cas sous la forme :

$$H(p) = \frac{S(p)}{E(p)} = \frac{K_S \prod_{k=1}^{n_3} (1 + \tau_k \cdot p) \cdot \prod_{l=1}^{n_4} \left(1 + \frac{2\xi_l}{\omega_{j0}} p + \frac{p^2}{\omega_{j0}^2} \right)}{p^\alpha \cdot \prod_{i=1}^{n_1} (1 + \tau_i \cdot p) \cdot \prod_{j=1}^{n_2} \left(1 + \frac{2\xi_j}{\omega_{j0}} p + \frac{p^2}{\omega_{j0}^2} \right)} \quad (1)$$

On remarque donc qu'on peut l'écrire qu'un produit de fonction de transfert usuelles de type **intégrateur**, **premier ordre**, et **second ordre** qui résultera dans le plan de Bode à la somme de tracés élémentaires.

Caractérisation d'une fonction de transfert complexe

Fonction de transfert complexe



- K_S est le gain statique.
- α est la **classe** de la fonction transfert :
 - le nombre d'**intégrations** si $\alpha > 0$;
 - le nombre de **dérivations** si $\alpha < 0$.
- L'ordre de la fonction de transfert est donné par :
 - $n = n_1 + 2 \cdot n_2 + \alpha$ si $\alpha > 0$;
 - $n = n_1 + 2 \cdot n_2$ si $\alpha < 0$;
 - n_1 le nombre de fonction de transfert du **premier ordre**.
 - n_2 le nombre de fonction de transfert du **second ordre** à pôles complexes.



Plan

- 1 **Combinaison des diagrammes de Bode élémentaires**
 - Caractérisation d'une fonction de transfert complexe
 - Méthodologie de tracé des fonctions de transferts complexes
- 2 **Application à l'exemple de la suspension d'un véhicule**
 - Décomposition de la fonction de transfert
 - Construction du diagramme de Bode de $H_1(j\omega)$
 - Calcul et classement des pulsations de cassure
 - Construction du diagramme de Bode complet
 - Caractérisation fréquentielle paramétrée de la suspension automobile
 - Interprétation temporelle d'une étude fréquentielle
- 3 **Autres types de lieux de transfert**
 - Diagramme de Nyquist
 - Diagramme de Black
- 4 **Conclusion**



Caractérisation d'une fonction de transfert complexe

- ❶ Mise sous forme canonique de la fonction de transfert sous la forme donnée par l'équation 1 ;
- ❷ identification de fonctions de transfert élémentaires : intégrateur, premier ordre, deuxième ordre ;
- ❸ calcul de toutes les pulsations caractéristiques (cassure ou coupure) ($\frac{1}{\tau_k}$, $\frac{1}{\tau_i}$, ω_{j0} et ω_{j0}) ;
- ❹ classement dans l'ordre croissant de toutes les pulsations caractéristiques ;
- ❺ construction d'un tableau permettant de caractériser les comportement asymptotique de chaque fonction de transfert élémentaires.



Application à l'exemple de la suspension d'un véhicule

$$H(p) = \frac{k + c p}{k + c p + m p^2} = \frac{1 + \frac{c}{k} p}{1 + \frac{c}{k} p + \frac{m}{k} p^2}$$

En remplaçant p par $j \omega$, on obtient :

$$H(j \omega) = \frac{1 + \frac{c}{k} j \omega}{1 + \frac{c}{k} j \omega + \frac{m}{k} (j \omega)^2} = \frac{1 + j \tau \omega}{1 + \frac{2\xi}{\omega_0} j \omega + \frac{1}{\omega_0^2} (j \omega)^2}$$





Plan

- 1 Combinaison des diagrammes de Bode élémentaires
 - Caractérisation d'une fonction de transfert complexe
 - Méthodologie de tracé des fonctions de transferts complexes
- 2 Application à l'exemple de la suspension d'un véhicule
 - Décomposition de la fonction de transfert
 - Construction du diagramme de Bode de $H_1(j\omega)$
 - Calcul et classement des pulsations de cassure
 - Construction du diagramme de Bode complet
 - Caractérisation fréquentielle paramétrée de la suspension automobile
 - Interprétation temporelle d'une étude fréquentielle
- 3 Autres types de lieux de transfert
 - Diagramme de Nyquist
 - Diagramme de Black
- 4 Conclusion



Application à l'exemple de la suspension d'un véhicule

$$H(j\omega) = H_1(j\omega) \cdot H_2(j\omega)$$

Avec,

$$\left\{ \begin{array}{l} H_1(j\omega) = 1 + j\tau\omega \\ H_2(j\omega) = \frac{1}{1 + \frac{2\xi}{\omega_0} j\omega + \frac{1}{\omega_0^2} (j\omega)^2} \end{array} \right.$$

On prendra pour valeurs numériques :

- $\tau = 0,01 \text{ s}$;
- $\xi = 0,2$;
- $\omega_0 = 28,3 \text{ rad/s}$



Plan

- 1 Combinaison des diagrammes de Bode élémentaires
 - Caractérisation d'une fonction de transfert complexe
 - Méthodologie de tracé des fonctions de transferts complexes
- 2 Application à l'exemple de la suspension d'un véhicule
 - Décomposition de la fonction de transfert
 - Construction du diagramme de Bode de $H_1(j\omega)$
 - Calcul et classement des pulsations de cassure
 - Construction du diagramme de Bode complet
 - Caractérisation fréquentielle paramétrée de la suspension automobile
 - Interprétation temporelle d'une étude fréquentielle
- 3 Autres types de lieux de transfert
 - Diagramme de Nyquist
 - Diagramme de Black
- 4 Conclusion

Construction du diagramme de Bode de $H_1(j\omega)$

Calcul du gain

- On pose :

$$H_1(j\omega) = 1 + \tau j\omega$$

On se propose de tracer le diagramme de Bode de $H_1(j\omega)$ avec $\tau = 0,01 \text{ s}$

- Expression du gain :
- On a donc deux branches asymptotiques :
 - Un branche horizontale jusqu'à $\omega = \frac{1}{\tau}$.
 - Un branche correspondant à une droite de pente $+20\text{dB/décade}$ et coupant l'axe des abscisse en $\omega = \frac{1}{\tau}$.



Construction du diagramme de Bode de $H_1(j\omega)$

Calcul du gain

- On pose :

$$H_1(j\omega) = 1 + \tau j\omega$$

On se propose de tracer le diagramme de Bode de $H_1(j\omega)$ avec $\tau = 0,01 \text{ s}$

- Expression du gain :**

$$G_{dB} = 20 \log(|1 + \tau j\omega|) = 20 \log(\sqrt{1 + (\tau\omega)^2})$$

- On a donc deux branches asymptotiques :
 - Un branche horizontale jusqu'à $\omega = \frac{1}{\tau}$.
 - Un branche correspondant à une droite de pente $+20\text{dB/décade}$ et coupant l'axe des abscisse en $\omega = \frac{1}{\tau}$.

Construction du diagramme de Bode de $H_1(j\omega)$

Calcul du gain

- On pose :

$$H_1(j\omega) = 1 + \tau j\omega$$

On se propose de tracer le diagramme de Bode de $H_1(j\omega)$ avec $\tau = 0,01$ s

- Expression du gain :**

$$G_{dB} = 20 \log(|1 + \tau j\omega|) = 20 \log(\sqrt{1 + (\tau\omega)^2})$$

- On a donc deux branches asymptotiques :
 - Un branche horizontale jusqu'à $\omega = \frac{1}{\tau}$.
 - Un branche correspondant à une droite de pente $+20\text{dB/décade}$ et coupant l'axe des abscisse en $\omega = \frac{1}{\tau}$.



Construction du diagramme de Bode de $H_1(j\omega)$

Calcul du gain

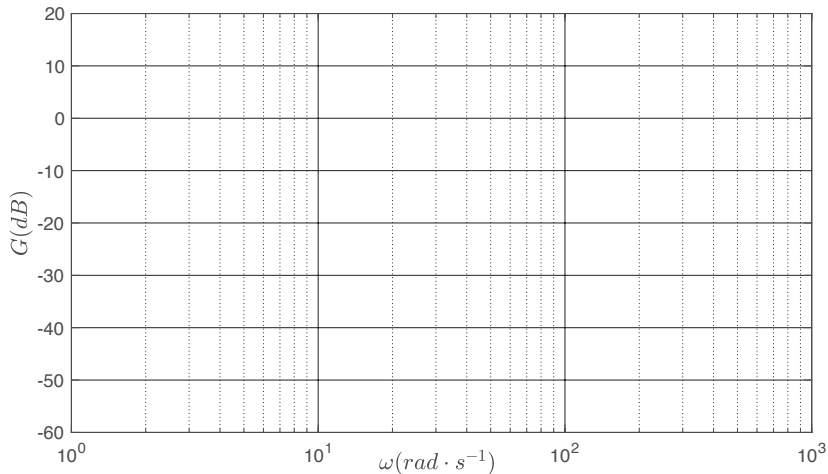
- Expression de la phase :

$$\varphi = \arg(1 + \tau j \omega)$$

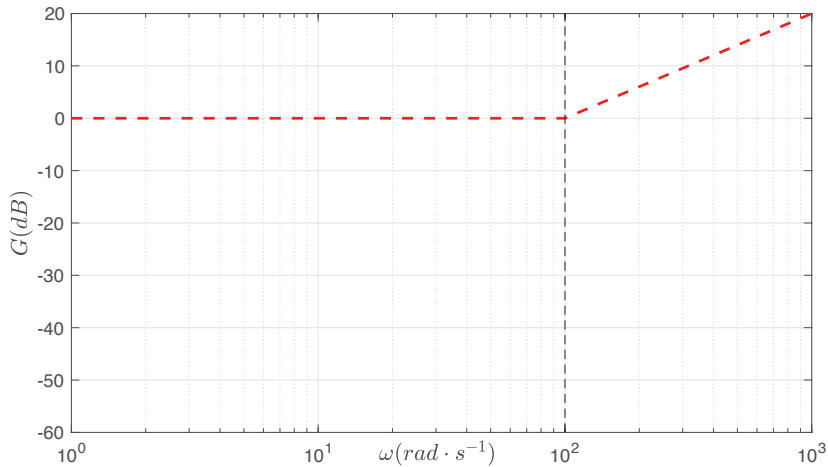
- On a donc deux branches asymptotiques :
 - Un branche horizontale correspondant à $\varphi = 0^\circ$ pour $\omega < \frac{1}{\tau}$.
 - Un branche horizontale correspondant à $\varphi = 90^\circ$ pour $\omega > \frac{1}{\tau}$.



Construction du diagramme de Bode de $H_1(j\omega)$

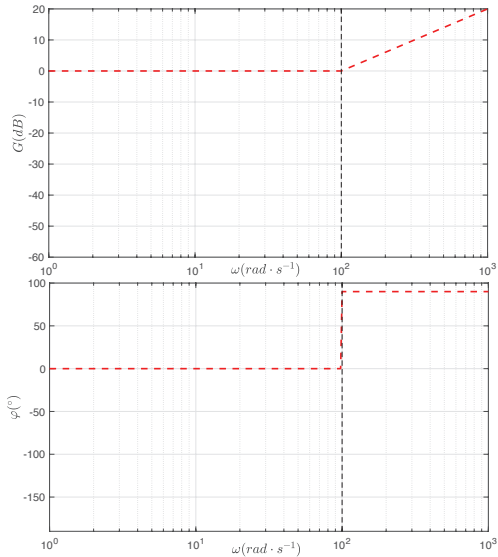


Construction du diagramme de Bode de $H_1(j\omega)$



$$\phi(\circ)$$

Construction du diagramme de Bode de $H_1(j\omega)$





Plan

- 1 Combinaison des diagrammes de Bode élémentaires
 - Caractérisation d'une fonction de transfert complexe
 - Méthodologie de tracé des fonctions de transferts complexes
- 2 Application à l'exemple de la suspension d'un véhicule
 - Décomposition de la fonction de transfert
 - Construction du diagramme de Bode de $H_1(j\omega)$
 - Calcul et classement des pulsations de cassure
 - Construction du diagramme de Bode complet
 - Caractérisation fréquentielle paramétrée de la suspension automobile
 - Interprétation temporelle d'une étude fréquentielle
- 3 Autres types de lieux de transfert
 - Diagramme de Nyquist
 - Diagramme de Black
- 4 Conclusion

Calcul et classement des pulsations de cassure

① Expressions littérales des pulsations de cassure :

② Applications numériques :

③ Classement des pulsations de cassure

Calcul et classement des pulsations de cassure

1 Expressions littérales des pulsations de cassure :

- Pour $H_1(p)$: $\omega_1 = \frac{1}{\tau}$
- Pour $H_2(p)$: $\omega_2 = \omega_0$

2 Applications numériques :

3 Classement des pulsations de cassure



Calcul et classement des pulsations de cassure

1 Expressions littérales des pulsations de cassure :

- Pour $H_1(p)$: $\omega_1 = \frac{1}{\tau}$
- Pour $H_2(p)$: $\omega_2 = \omega_0$

2 Applications numériques :

- Pour $H_1(p)$: $\omega_1 = 100 \text{ rad/s}$
- Pour $H_2(p)$: $\omega_2 = 28,3 \text{ rad/s}$

3 Classement des pulsations de cassure



Calcul et classement des pulsations de cassure

1 Expressions littérales des pulsations de cassure :

- Pour $H_1(p)$: $\omega_1 = \frac{1}{\tau}$
- Pour $H_2(p)$: $\omega_2 = \omega_0$

2 Applications numériques :

- Pour $H_1(p)$: $\omega_1 = 100 \text{ rad/s}$
- Pour $H_2(p)$: $\omega_2 = 28,3 \text{ rad/s}$

3 Classement des pulsations de cassure

$$\omega_2 < \omega_1$$



Plan

- 1 Combinaison des diagrammes de Bode élémentaires
 - Caractérisation d'une fonction de transfert complexe
 - Méthodologie de tracé des fonctions de transferts complexes
- 2 Application à l'exemple de la suspension d'un véhicule
 - Décomposition de la fonction de transfert
 - Construction du diagramme de Bode de $H_1(j\omega)$
 - Calcul et classement des pulsations de cassure
 - Construction du diagramme de Bode complet
 - Caractérisation fréquentielle paramétrée de la suspension automobile
 - Interprétation temporelle d'une étude fréquentielle
- 3 Autres types de lieux de transfert
 - Diagramme de Nyquist
 - Diagramme de Black
- 4 Conclusion



Construction du diagramme de Bode complet

ω	$0 \rightarrow \omega_2$		ω_2	$\omega_2 \rightarrow \omega_1$		ω_1	$\omega_1 \rightarrow \infty$	
Tracé asymptotique	Gain (dB/dec)	$\varphi(^{\circ})$	Gain (dB)	Gain (dB/dec)	$\varphi(^{\circ})$	Gain (dB)	Gain (dB/dec)	$\varphi(^{\circ})$
$H_1(p)$								
$H_2(p)$								
$H(p)$								



Construction du diagramme de Bode complet

ω	$0 \rightarrow \omega_2$		ω_2	$\omega_2 \rightarrow \omega_1$		ω_1	$\omega_1 \rightarrow \infty$	
Tracé asymptotique	Gain (dB/dec)	$\varphi(^{\circ})$	Gain (dB)	Gain (dB/dec)	$\varphi(^{\circ})$	Gain (dB)	Gain (dB/dec)	$\varphi(^{\circ})$
$H_1(p)$	0	0	0	0	0	0	+20	+90
$H_2(p)$								
$H(p)$								



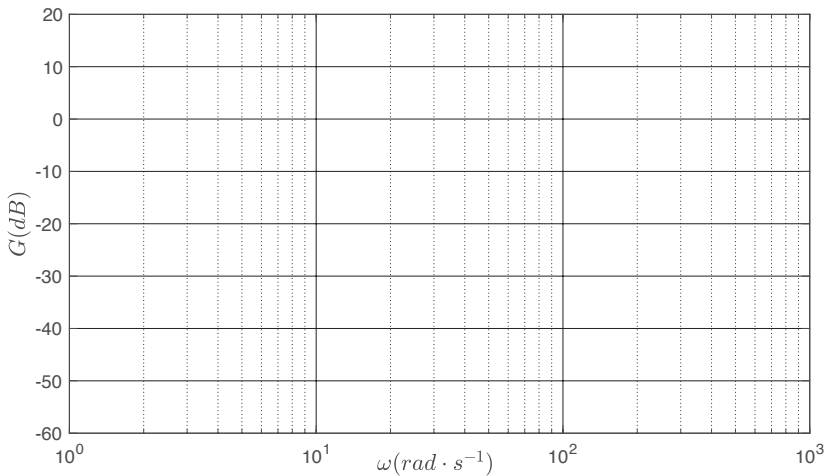
Construction du diagramme de Bode complet

ω	$0 \rightarrow \omega_2$		ω_2	$\omega_2 \rightarrow \omega_1$		ω_1	$\omega_1 \rightarrow \infty$	
Tracé asymptotique	Gain (dB/dec)	$\varphi(^{\circ})$	Gain (dB)	Gain (dB/dec)	$\varphi(^{\circ})$	Gain (dB)	Gain (dB/dec)	$\varphi(^{\circ})$
$H_1(p)$	0	0	0	0	0	0	+20	+90
$H_2(p)$	0	0	0	-40	-180	Continuité	-40	-180
$H(p)$								



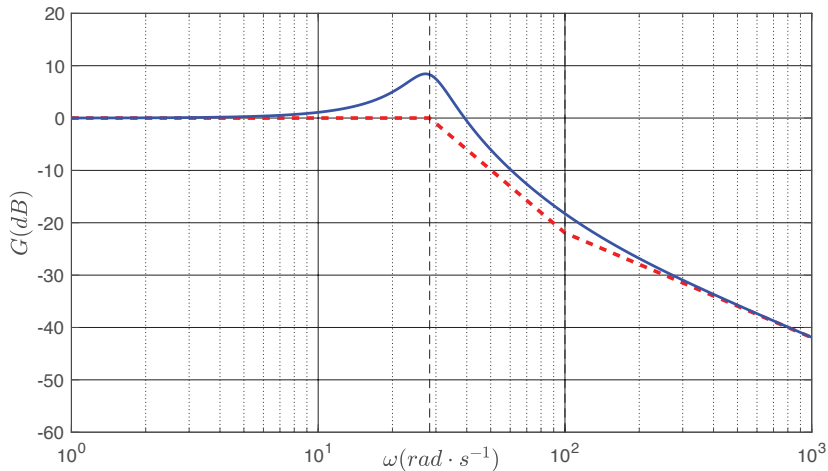
Construction du diagramme de Bode complet

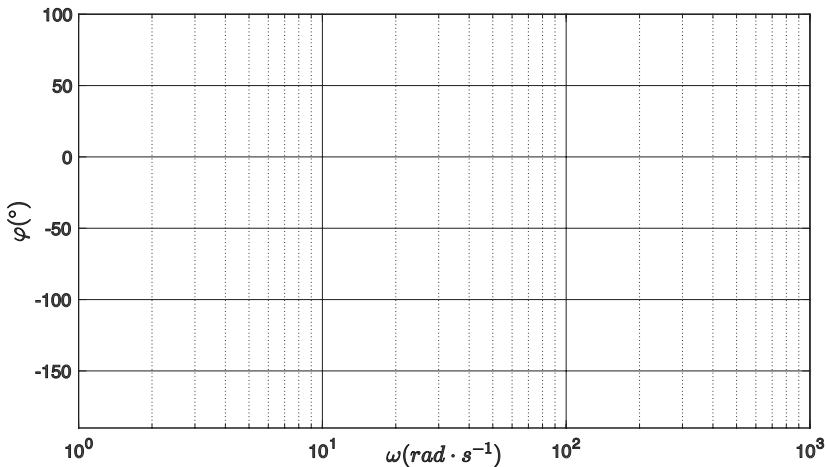
ω	$0 \rightarrow \omega_2$		ω_2	$\omega_2 \rightarrow \omega_1$		ω_1	$\omega_1 \rightarrow \infty$	
Tracé asymptotique	Gain (dB/dec)	$\varphi(^{\circ})$	Gain (dB)	Gain (dB/dec)	$\varphi(^{\circ})$	Gain (dB)	Gain (dB/dec)	$\varphi(^{\circ})$
$H_1(p)$	0	0	0	0	0	0	+20	+90
$H_2(p)$	0	0	0	-40	-180	Continuité	-40	-180
$H(p)$	0	0	0	-40	-180	Continuité	-20	-90





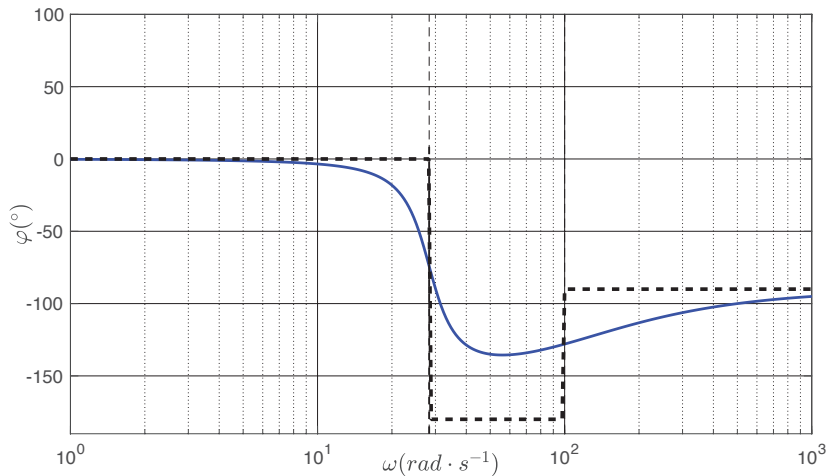
Construction du diagramme de Bode complet



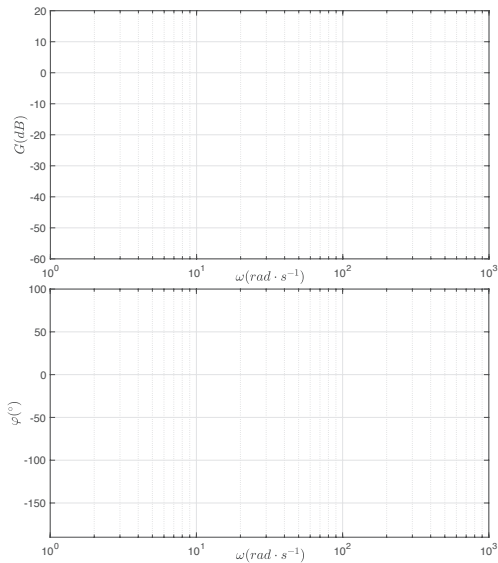




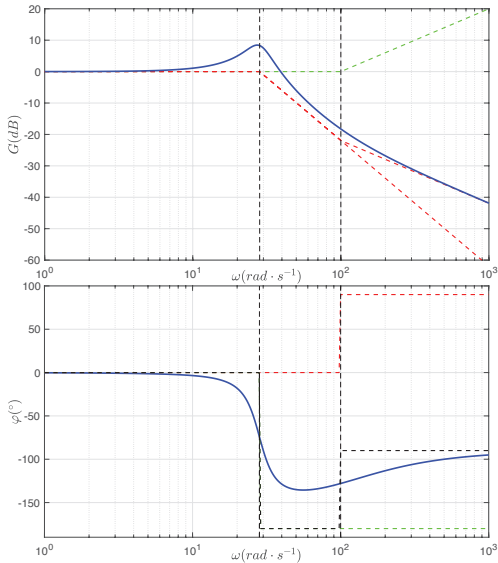
Construction du diagramme de Bode complet



Construction du diagramme de Bode complet



Construction du diagramme de Bode complet

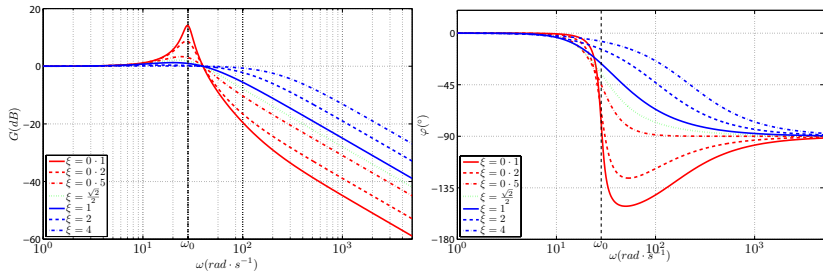




Plan

- 1 Combinaison des diagrammes de Bode élémentaires
 - Caractérisation d'une fonction de transfert complexe
 - Méthodologie de tracé des fonctions de transferts complexes
- 2 Application à l'exemple de la suspension d'un véhicule
 - Décomposition de la fonction de transfert
 - Construction du diagramme de Bode de $H_1(j\omega)$
 - Calcul et classement des pulsations de cassure
 - Construction du diagramme de Bode complet
 - Caractérisation fréquentielle paramétrée de la suspension automobile
 - Interprétation temporelle d'une étude fréquentielle
- 3 Autres types de lieux de transfert
 - Diagramme de Nyquist
 - Diagramme de Black
- 4 Conclusion

Caractérisation fréquentielle paramétrée de la suspension automobile





Caractérisation fréquentielle paramétrée de la suspension automobile

On peut alors tracer pour différentes valeurs de ξ les différents diagrammes de Bode.

- Pour des pulsations faibles ($\omega \rightarrow 0$) :
 - G_{dB} est proche de 0 c'est à dire que G est proche de 1 et donc que l'amplitude du signal de sortie est similaire à celle du signal d'entrée.
 - $\varphi \simeq 0^\circ$ ainsi le retard est très faible : peu de déphasage entre l'entrée et la sortie.
- Pour des pulsations proche de la pulsation de coupure ($\omega \simeq \omega_0 \simeq \omega_r$) :
 - La résonance apparaît dès lors que $\xi < \frac{\sqrt{2}}{2}$ à $\omega = \omega_r \simeq \omega_0$.
 - Dans ce cas G_{dB} est grand donc G aussi et l'amplitude de sortie est fortement amplifiée par rapport à l'amplitude d'entrée.
 - Le déphasage est équivalent à -90° soit environ 1/4 de période.
- Pour des pulsations élevées ($\omega \rightarrow +\infty$) :
 - G_{dB} diminue fortement c'est à dire que G est très faible et donc que l'amplitude du signal de sortie est très amortie par rapport à celle du signal d'entrée.
 - $\varphi \simeq -90^\circ$ ainsi le retard est de l'ordre d'un quart de période.



Caractérisation fréquentielle paramétrée de la suspension automobile

On peut alors tracer pour différentes valeurs de ξ les différents diagrammes de Bode.

- Pour des pulsations faibles ($\omega \rightarrow 0$) :
 - G_{dB} est proche de 0 c'est à dire que G est proche de 1 et donc que l'amplitude du signal de sortie est similaire à celle du signal d'entrée.
 - $\varphi \simeq 0^\circ$ ainsi le retard est très faible : peu de déphasage entre l'entrée et la sortie.
- Pour des pulsations proche de la pulsation de coupure ($\omega \simeq \omega_0 \simeq \omega_r$) :
 - La résonance apparaît dès lors que $\xi < \frac{\sqrt{2}}{2}$ à $\omega = \omega_r \simeq \omega_0$.
 - Dans ce cas G_{dB} est grand donc G aussi et l'amplitude de sortie est fortement amplifiée par rapport à l'amplitude d'entrée.
 - Le déphasage est équivalent à -90° soit environ 1/4 de période.
- Pour des pulsations élevées ($\omega \rightarrow +\infty$) :
 - G_{dB} diminue fortement c'est à dire que G est très faible et donc que l'amplitude du signal de sortie est très amortie par rapport à celle du signal d'entrée.
 - $\varphi \simeq -90^\circ$ ainsi le retard est de l'ordre d'un quart de période.



Caractérisation fréquentielle paramétrée de la suspension automobile

On peut alors tracer pour différentes valeurs de ξ les différents diagrammes de Bode.

- Pour des pulsations faibles ($\omega \rightarrow 0$) :
 - G_{dB} est proche de 0 c'est à dire que G est proche de 1 et donc que l'amplitude du signal de sortie est similaire à celle du signal d'entrée.
 - $\varphi \simeq 0^\circ$ ainsi le retard est très faible : peu de déphasage entre l'entrée et la sortie.
- Pour des pulsations proche de la pulsation de coupure ($\omega \simeq \omega_0 \simeq \omega_r$) :
 - La résonance apparaît dès lors que $\xi < \frac{\sqrt{2}}{2}$ à $\omega = \omega_r \simeq \omega_0$.
 - Dans ce cas G_{dB} est grand donc G aussi et l'amplitude de sortie est fortement amplifiée par rapport à l'amplitude d'entrée.
 - Le déphasage est équivalent à -90° soit environ 1/4 de période.
- Pour des pulsations élevées ($\omega \rightarrow +\infty$) :
 - G_{dB} diminue fortement c'est à dire que G est très faible et donc que l'amplitude du signal de sortie est très amortie par rapport à celle du signal d'entrée.
 - $\varphi \simeq -90^\circ$ ainsi le retard est de l'ordre d'un quart de période.

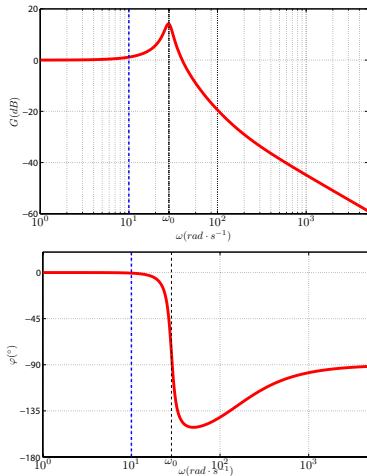


Plan

- 1 Combinaison des diagrammes de Bode élémentaires
 - Caractérisation d'une fonction de transfert complexe
 - Méthodologie de tracé des fonctions de transferts complexes
- 2 Application à l'exemple de la suspension d'un véhicule
 - Décomposition de la fonction de transfert
 - Construction du diagramme de Bode de $H_1(j\omega)$
 - Calcul et classement des pulsations de cassure
 - Construction du diagramme de Bode complet
 - Caractérisation fréquentielle paramétrée de la suspension automobile
 - Interprétation temporelle d'une étude fréquentielle
- 3 Autres types de lieux de transfert
 - Diagramme de Nyquist
 - Diagramme de Black
- 4 Conclusion

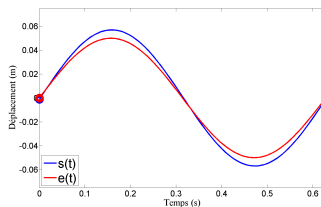
Interprétation temporelle d'une étude fréquentielle

Construction du diagramme de Bode de $H(j\omega)$ avec $\xi = 0,2$: pour $\omega = 10 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$



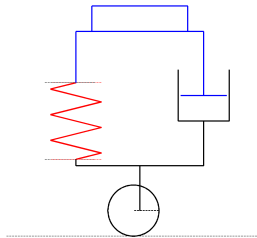
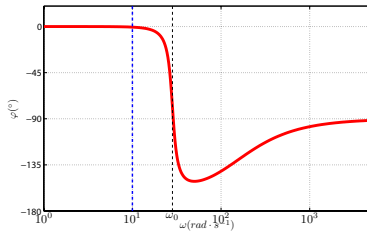
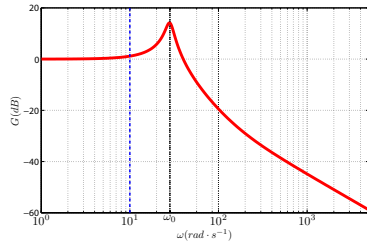
$$e(t) = e_0 \sin(\omega t)$$

$$s(t) = G e_0 \sin(\omega t + \varphi)$$



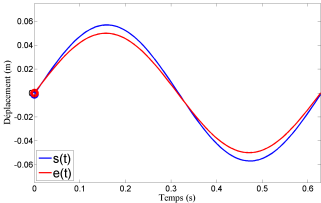
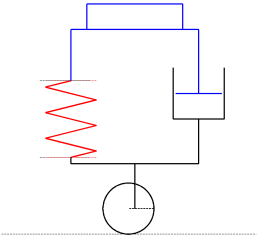
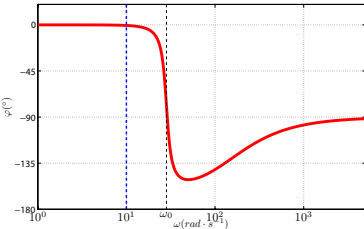
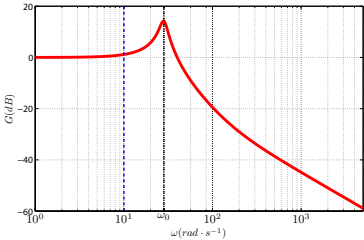
Interprétation temporelle d'une étude fréquentielle

Construction du diagramme de Bode de $H(j\omega)$ avec $\xi = 0,2$: pour $\omega = 10 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$



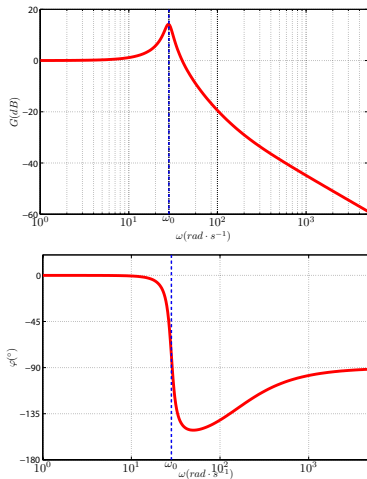
Interprétation temporelle d'une étude fréquentielle

Construction du diagramme de Bode de $H(j \omega)$ avec $\xi = 0,2$: pour $\omega = 10 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$



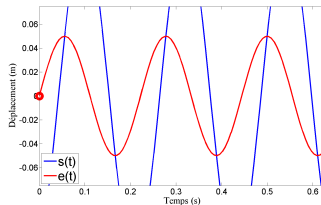
Interprétation temporelle d'une étude fréquentielle

Construction du diagramme de Bode de $H(j\omega)$ avec $\xi = 0,2$: pour $\omega = \omega_0 = 28.3 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$



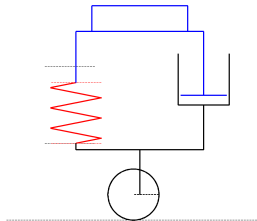
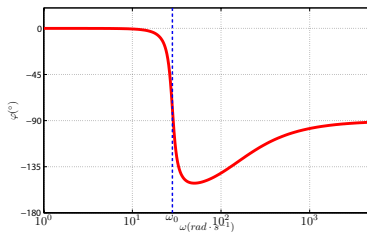
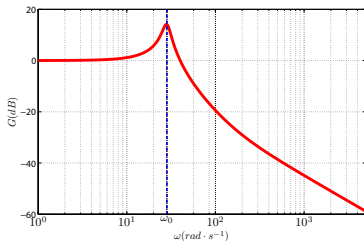
$$e(t) = e_0 \sin(\omega t)$$

$$s(t) = G e_0 \sin(\omega t + \varphi)$$



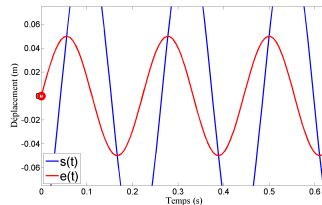
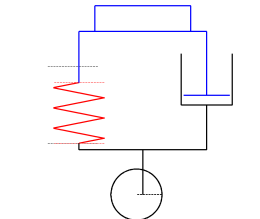
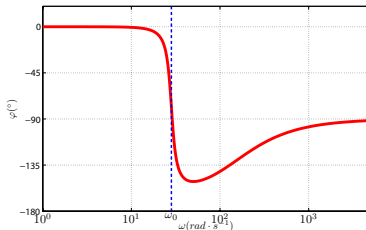
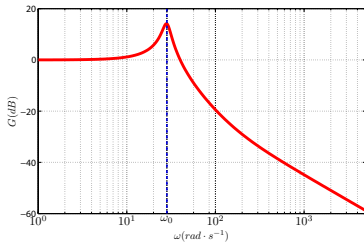
Interprétation temporelle d'une étude fréquentielle

Construction du diagramme de Bode de $H(j\omega)$ avec $\xi = 0,2$: pour $\omega = \omega_0 = 28.3 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$



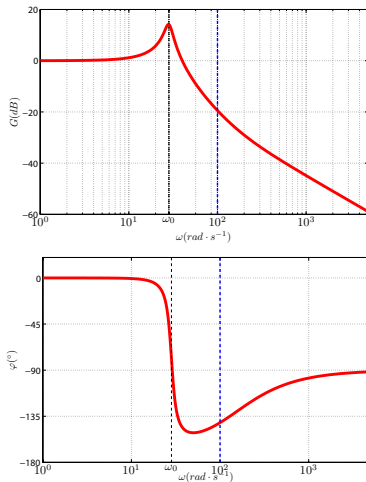
Interprétation temporelle d'une étude fréquentielle

Construction du diagramme de Bode de $H(j\omega)$ avec $\xi = 0,2$: pour $\omega = \omega_0 = 28,3 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$



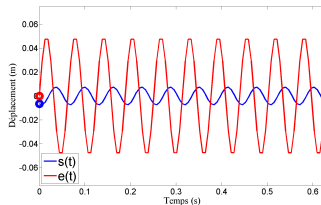
Interprétation temporelle d'une étude fréquentielle

Construction du diagramme de Bode de $H(j\omega)$ avec $\xi = 0,2$: pour $\omega = 100 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$



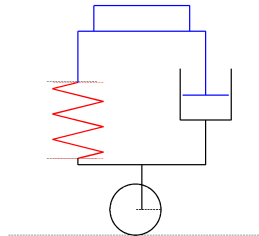
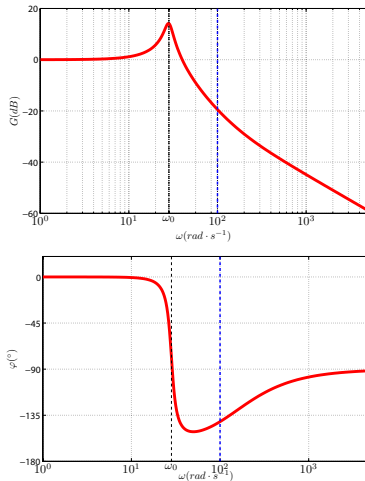
$$e(t) = e_0 \sin(\omega t)$$

$$s(t) = G e_0 \sin(\omega t + \varphi)$$



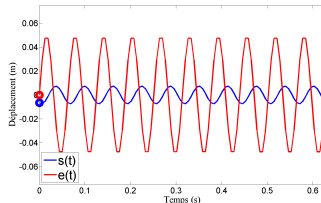
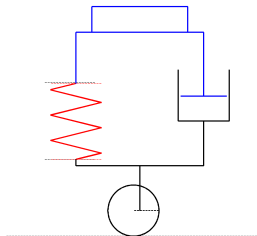
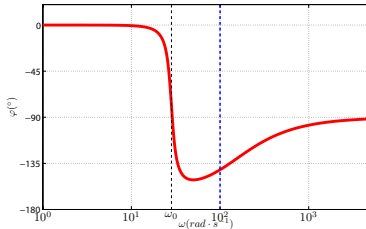
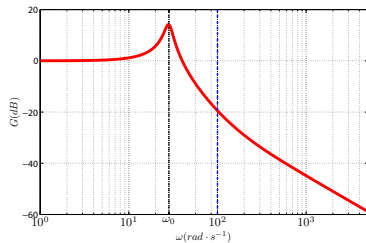
Interprétation temporelle d'une étude fréquentielle

Construction du diagramme de Bode de $H(j\omega)$ avec $\xi = 0,2$: pour $\omega = 100 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$



Interprétation temporelle d'une étude fréquentielle

Construction du diagramme de Bode de $H(j\omega)$ avec $\xi = 0,2$: pour $\omega = 100 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$





Plan

- 1 Combinaison des diagrammes de Bode élémentaires
 - Caractérisation d'une fonction de transfert complexe
 - Méthodologie de tracé des fonctions de transferts complexes
- 2 Application à l'exemple de la suspension d'un véhicule
 - Décomposition de la fonction de transfert
 - Construction du diagramme de Bode de $H_1(j\omega)$
 - Calcul et classement des pulsations de cassure
 - Construction du diagramme de Bode complet
 - Caractérisation fréquentielle paramétrée de la suspension automobile
 - Interprétation temporelle d'une étude fréquentielle
- 3 Autres types de lieux de transfert
 - Diagramme de Nyquist
 - Diagramme de Black
- 4 Conclusion



Diagramme de Nyquist

Diagramme de Nyquist

- Le **diagramme de Nyquist** permet de représenter l'état de la réponse fréquentielle ($s(t) = G e_0 \sin(\omega t + \varphi)$) en fonction de la pulsation ω pour une fonction de transfert $H(p)$.
- Ce diagramme donne l'évolution de la partie imaginaire de la fonction de transfert ($Im(H(j\omega))$) en fonction de sa partie réelle ($Re(H(j\omega))$)
- On obtient alors une **courbe paramétrée** qui évolue en fonction de ω .



Diagramme de Nyquist

Diagramme de Nyquist

- Le **diagramme de Nyquist** permet de représenter l'état de la réponse fréquentielle ($s(t) = G e_0 \sin(\omega t + \varphi)$) en fonction de la pulsation ω pour une fonction de transfert $H(p)$.
- Ce diagramme donne l'évolution de la partie imaginaire de la fonction de transfert ($Im(H(j \omega))$) en fonction de sa partie réelle ($R(H(j \omega))$)
- On obtient alors une **courbe paramétrée** qui évolue en fonction de ω .

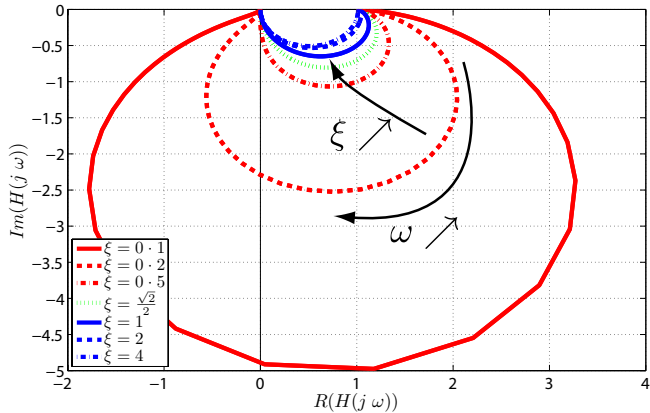


Diagramme de Nyquist

Diagramme de Nyquist

- Le **diagramme de Nyquist** permet de représenter l'état de la réponse fréquentielle ($s(t) = G e_0 \sin(\omega t + \varphi)$) en fonction de la pulsation ω pour une fonction de transfert $H(p)$.
- Ce diagramme donne l'évolution de la partie imaginaire de la fonction de transfert ($Im(H(j \omega))$) en fonction de sa partie réelle ($Re(H(j \omega))$)
- On obtient alors une **courbe paramétrée** qui évolue en fonction de ω .

Diagramme de Nyquist





Plan

- 1 Combinaison des diagrammes de Bode élémentaires
 - Caractérisation d'une fonction de transfert complexe
 - Méthodologie de tracé des fonctions de transferts complexes
- 2 Application à l'exemple de la suspension d'un véhicule
 - Décomposition de la fonction de transfert
 - Construction du diagramme de Bode de $H_1(j\omega)$
 - Calcul et classement des pulsations de cassure
 - Construction du diagramme de Bode complet
 - Caractérisation fréquentielle paramétrée de la suspension automobile
 - Interprétation temporelle d'une étude fréquentielle
- 3 Autres types de lieux de transfert
 - Diagramme de Nyquist
 - Diagramme de Black
- 4 Conclusion

Diagramme de Black

Diagramme de Black

- Le **diagramme de Black** permet de représenter l'état de la réponse fréquentielle ($s(t) = G e_0 \sin(\omega t + \varphi)$) en fonction de la pulsation ω pour une fonction de transfert $H(p)$.
- Ce diagramme donne l'évolution du gain en décibel (G_{dB})

$$G_{dB} = 20 \log(G) = 20 \log(|H(j\omega)|);$$

- en fonction de la phase en degré (φ en $^\circ$).

$$\varphi = \arg(H(j\omega)).$$

- On obtient alors une **courbe paramétrée** qui évolue en fonction de ω .



Diagramme de Black

Diagramme de Black

- Le **diagramme de Black** permet de représenter l'état de la réponse fréquentielle ($s(t) = G e_0 \sin(\omega t + \varphi)$) en fonction de la pulsation ω pour une fonction de transfert $H(p)$.
- Ce diagramme donne l'évolution du gain en décibel ($G_d B$)

$$G_{db} = 20 \log(G) = 20 \log(|H(j\omega)|);$$

- en fonction de la phase en degré (φ en $^\circ$).

$$\varphi = \arg(H(j\omega)).$$

- On obtient alors une **courbe paramétrée** qui évolue en fonction de ω .

Diagramme de Black

Diagramme de Black

- Le **diagramme de Black** permet de représenter l'état de la réponse fréquentielle ($s(t) = G e_0 \sin(\omega t + \varphi)$) en fonction de la pulsation ω pour une fonction de transfert $H(p)$.
- Ce diagramme donne l'évolution du gain en décibel ($G_d B$)

$$G_{db} = 20 \log(G) = 20 \log(|H(j\omega)|);$$

- en fonction de la phase en degré (φ en $^\circ$).

$$\varphi = \arg(H(j\omega)).$$

- On obtient alors une **courbe paramétrée** qui évolue en fonction de ω .



Diagramme de Black

Diagramme de Black

- Le **diagramme de Black** permet de représenter l'état de la réponse fréquentielle ($s(t) = G e_0 \sin(\omega t + \varphi)$) en fonction de la pulsation ω pour une fonction de transfert $H(p)$.
- Ce diagramme donne l'évolution du gain en décibel ($G_d B$)

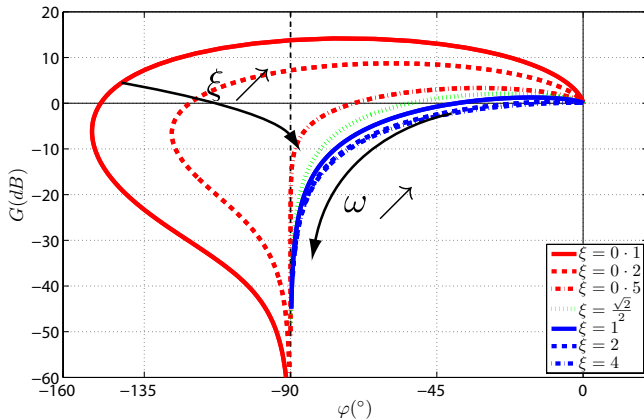
$$G_{db} = 20 \log(G) = 20 \log(|H(j\omega)|);$$

- en fonction de la phase en degré (φ en $^\circ$).

$$\varphi = \arg(H(j\omega)).$$

- On obtient alors une **courbe paramétrée** qui évolue en fonction de ω .

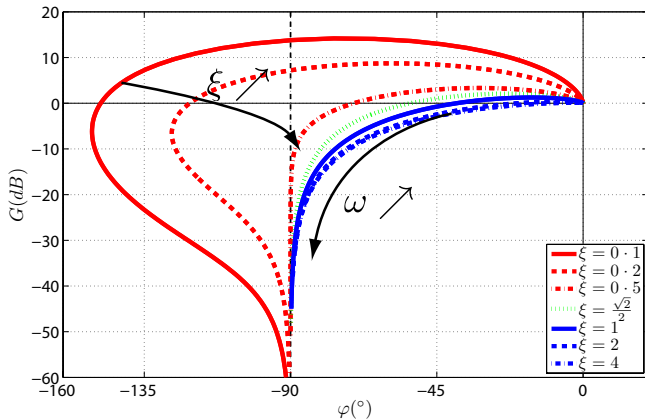
Diagramme de Black



Remarque

Ces deux derniers diagrammes (Nyquist et Black) sont utilisés habituellement sous la forme d'abaques pour caractériser la **stabilité** des systèmes asservis.

Diagramme de Black



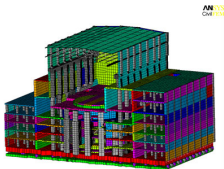
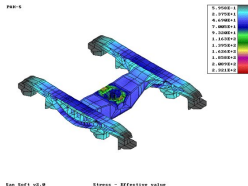
Remarque

Ces deux derniers diagrammes (Nyquist et Black) sont utilisés habituellement sous la forme d'abaques pour caractériser la **stabilité** des systèmes asservis.

Conclusion

Conclusion : analyse fréquentielle

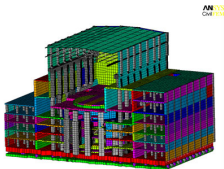
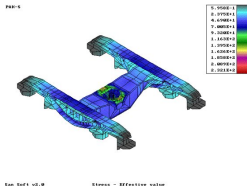
- L'analyse fréquentielle : caractérisation de la réponse d'un système vis-à-vis d'une consigne harmonique.
 - le gain ($G_d B = 20 \log (|H(j \omega)|)$),
 - la phase ($\varphi = \arg (H(j \omega))$),
- - analyse modale pour la conception de système mécanique,
 - conception de bâtiments résistant à des ondes sismiques.



Conclusion

Conclusion : analyse fréquentielle

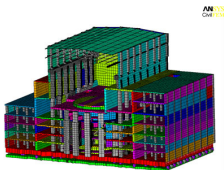
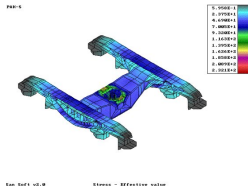
- L'analyse fréquentielle : caractérisation de la réponse d'un système vis-à-vis d'une consigne harmonique.
 - le gain ($G_d B = 20 \log (|H(j \omega)|)$),
 - la phase ($\varphi = \arg (H(j \omega))$),
- - « analyse modale pour la conception de système mécanique,
 - « conception de bâtiments résistant à des ondes sismiques.



Conclusion

Conclusion : analyse fréquentielle

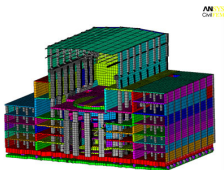
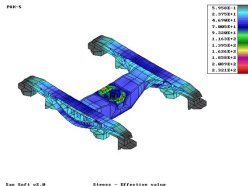
- L'analyse fréquentielle : caractérisation de la réponse d'un système vis-à-vis d'une consigne harmonique.
 - le gain ($G_d B = 20 \log (|H(j \omega)|)$),
 - la phase ($\varphi = \arg (H(j \omega))$),
- « analyses utiles pour la conception de système mécanique, »
- « conception de bâtiments résistants à des séismes sismiques. »



Conclusion

Conclusion : analyse fréquentielle

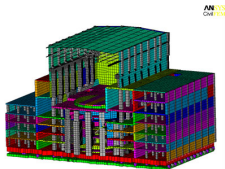
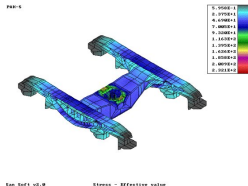
- L'analyse fréquentielle : caractérisation de la réponse d'un système vis-à-vis d'une consigne harmonique.
 - le gain ($G_d B = 20 \log (|H(j \omega)|)$),
 - la phase ($\varphi = \arg (H(j \omega))$),
- analyse modale pour la conception de système mécanique,
- conception de bâtiments résistant à des ondes sismiques.



Conclusion

Conclusion : analyse fréquentielle

- L'analyse fréquentielle : caractérisation de la réponse d'un système vis-à-vis d'une consigne harmonique.
 - le gain ($G_d B = 20 \log (|H(j \omega)|)$),
 - la phase ($\varphi = \arg (H(j \omega))$),
- analyse modale pour la conception de système mécanique,
 - conception de bâtiments résistant à des ondes sismiques.



Conclusion

Conclusion : analyse fréquentielle

- L'analyse fréquentielle : caractérisation de la réponse d'un système vis-à-vis d'une consigne harmonique.
 - le gain ($G_d B = 20 \log (|H(j \omega)|)$),
 - la phase ($\varphi = \arg (H(j \omega))$),
- analyse modale pour la conception de système mécanique,
- conception de bâtiments résistant à des ondes sismiques.

