Cours de Systèmes Électroniques :
Introduction à l'électronique d'instrumentation

A. Arciniegas
F. Boucher
N. Wilkie-Chancellier
A. Bouzzit
S. Hebaz

IUT Cergy-Pontoise, Dep GEII, site de Neuville

Plan du cours

Avant propos

Avant propos

Pré-requis

- Manipuler les opérations de base, les fractions ;
- Manipuler les nombres complexes ;
- Utiliser les lois fondamentales et théorèmes généraux de l'électricité ;

Avant propos

Pré-requis

- Manipuler les opérations de base, les fractions ;
- Manipuler les nombres complexes ;
- Utiliser les lois fondamentales et théorèmes généraux de l'électricité ;

Contenu et objectifs

Première partie : *Filtres actifs de premier et second ordre*

- Identifier les caractéristiques des filtres à AOP
- Calculer la fonction de transfert
- Tracer le diagramme de Bode
- Concevoir un filtre suivant un cahier des charges

Avant propos

Pré-requis

- Manipuler les opérations de base, les fractions ;
- Manipuler les nombres complexes ;
- Utiliser les lois fondamentales et théorèmes généraux de l'électricité ;

Contenu et objectifs

Deuxième partie : *AOP en régime non linéaire (RNL) et défauts*

- Identifier quelques montages à base des AOP fonctionnant en RNL
- Réaliser différents comparateurs à AOP
- Choisir le montage à AOP en RNL selon l'application envisagée
- S'informer sur les limites d'utilisation des AOP (approximations, défauts)

Avant propos

Pré-requis

- Manipuler les opérations de base, les fractions ;
- Manipuler les nombres complexes ;
- Utiliser les lois fondamentales et théorèmes généraux de l'électricité ;

Contenu et objectifs

Première partie : *Filtres actifs de premier et second ordre*
Deuxième partie : *AOP en régime non linéaire (RNL) et défauts*

Déroulement du module (22,5 heures)

- Cours
- Séances de TD
- Évaluations : DS, DM...

Contexte

Chaîne d'acquistion

Définition : Une chaîne d'acquisition est un système électronique qui recueille les informations nécessaires à la connaissance et au contrôle d'un procédé ; elle délivre ces informations sous une forme appropriée à leur exploitation.

Chaîne d'acquistion

Définition : Une chaîne d'acquisition est un système électronique qui recueille les informations nécessaires à la connaissance et au contrôle d'un procédé ; elle délivre ces informations sous une forme appropriée à leur exploitation.

Elle est composée de différents blocs fonctionnels :

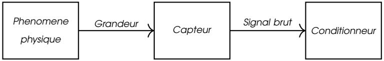
- Extraction de l'information : capteur (Physique)

Chaîne d'acquistion

Définition : Une chaîne d'acquisition est un système électronique qui recueille les informations nécessaires à la connaissance et au contrôle d'un procédé ; elle délivre ces informations sous une forme appropriée à leur exploitation.

Elle est composée de différents blocs fonctionnels :

- Extraction de l'information : capteur (Physique)
- Conversion en signal utile : conditionneur (Électronique)



Chaîne d'acquistion

Définition : Une chaîne d'acquisition est un système électronique qui recueille les informations nécessaires à la connaissance et au contrôle d'un procédé ; elle délivre ces informations sous une forme appropriée à leur exploitation.

Elle est composée de différents blocs fonctionnels :

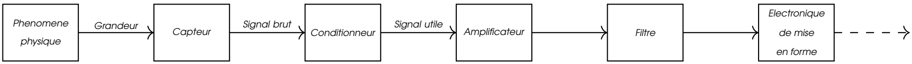
- Extraction de l'information : capteur (Physique)
- Conversion en signal utile : conditionneur (Électronique)
- Traitement analogique du signal : amplificateurs (d'instrumentation) et filtres

Chaîne d'acquistion

Définition : Une chaîne d'acquisition est un système électronique qui recueille les informations nécessaires à la connaissance et au contrôle d'un procédé ; elle délivre ces informations sous une forme appropriée à leur exploitation.

Elle est composée de différents blocs fonctionnels :

- Extraction de l'information : capteur (Physique)
- Conversion en signal utile : conditionneur (Électronique)
- Traitement analogique du signal : amplificateurs (d'instrumentation) et filtres
- Électronique de mise en forme : linéarisation, interfaçage...

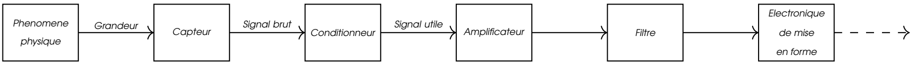


Chaîne d'acquistion

Définition : Une chaîne d'acquisition est un système électronique qui recueille les informations nécessaires à la connaissance et au contrôle d'un procédé ; elle délivre ces informations sous une forme appropriée à leur exploitation.

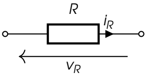
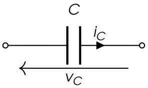
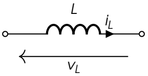
Elle est composée de différents blocs fonctionnels :

- Extraction de l'information : capteur (Physique)
- Conversion en signal utile : conditionneur (Électronique)
- Traitement analogique du signal : amplificateurs (d'instrumentation) et **filtres**
- **Électronique de mise en forme**



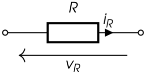
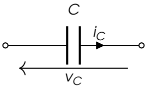
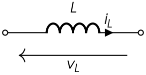
Régime Sinusoïdal Permanent

Pour rappel, les trois composants peuvent être utilisés avec différentes relations courant/tension :

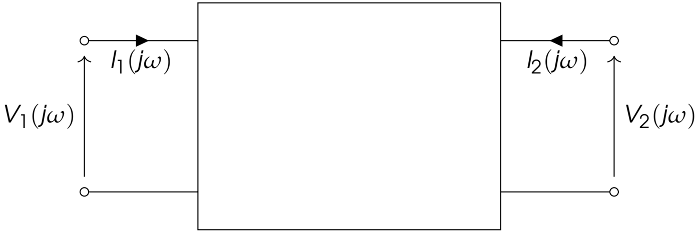
	Résistance	Capacité	Inductance
			
DC			
temporel	$v_R(t) =$	$i_C(t) =$	$v_L(t) =$
sinusoïdal	$Z_R(\omega) =$	$Z_C(\omega) =$	$Z_L(\omega) =$

Composants passifs en RSP (2/2)

En sinusoïdal, et aux limites, les composants et leurs modèles deviennent :

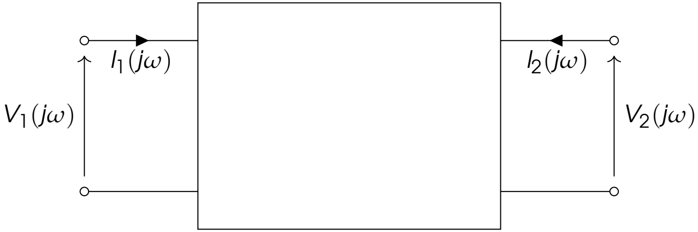
	Résistance	Capacité	Inductance
			
$\omega \to 0$	$Z_R =$	$Z_C \to$	$Z_L \to$
$\omega \to \infty$	$Z_R =$	$Z_C \to$	$Z_L \to$

Du point de vue fonctionnel, on peut toujours étudier un circuit à 1 entrée/sortie en utilisant l'approche vue sur les quadripôles :



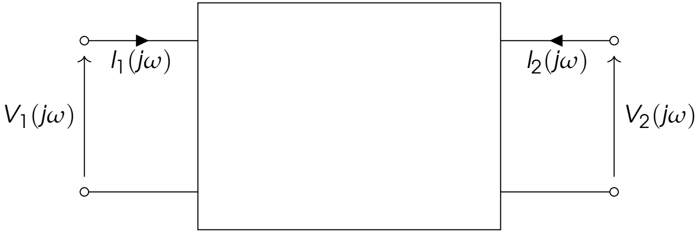
Quadripôles en RSP

Du point de vue fonctionnel, on peut toujours étudier un circuit à 1 entrée/sortie en utilisant l'approche vue sur les quadripôles :



et on peut exprimer en **complexe ($\mathbb{C}$)** les propriétés habituelles :

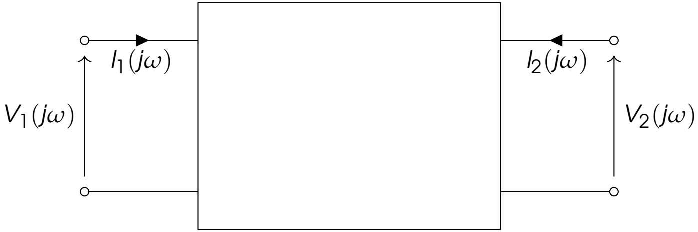
Du point de vue fonctionnel, on peut toujours étudier un circuit à 1 entrée/sortie en utilisant l'approche vue sur les quadripôles :



et on peut exprimer en **complexe ($\mathbb{C}$)** les propriétés habituelles :

- l'impédance d'entrée $Z_{in}(j\omega)$ (et non plus la résistance d'entrée),

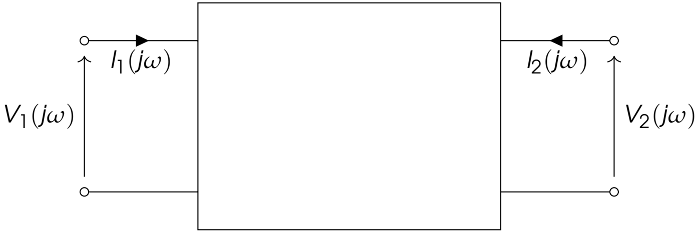
Du point de vue fonctionnel, on peut toujours étudier un circuit à 1 entrée/sortie en utilisant l'approche vue sur les quadripôles :



et on peut exprimer en **complexe ($\mathbb{C}$)** les propriétés habituelles :

- l'impédance d'entrée $Z_{in}(j\omega)$ (et non plus la résistance d'entrée),
- l'impédance de sortie $Z_{out}(j\omega)$ (et non plus la résistance de sortie),

Du point de vue fonctionnel, on peut toujours étudier un circuit à 1 entrée/sortie en utilisant l'approche vue sur les quadripôles :



et on peut exprimer en **complexe ($\mathbb{C}$)** les propriétés habituelles :

- l'impédance d'entrée $Z_{in}(j\omega)$ (et non plus la résistance d'entrée),
- l'impédance de sortie $Z_{out}(j\omega)$ (et non plus la résistance de sortie),
- le gain

Étude de la Fonction de Transfert

Fonction de Transfert

Généralités

- On ne parle alors plus de gain complexe mais de **Fonction de Transfert**

Généralités

- On ne parle alors plus de gain complexe mais de **Fonction de Transfert**
- Sens physique : c'est une fonction complexe qui définit pour chaque fréquence le gain du montage (proportion de tension d'entrée ramenée en sortie).

Généralités

- On ne parle alors plus de gain complexe mais de **Fonction de Transfert**
- Sens physique : c'est une fonction complexe qui définit pour chaque fréquence le gain du montage (proportion de tension d'entrée ramenée en sortie).

Définition

Identique au gain, soit H la fonction de transfert d'un montage dont les tensions d'entrée et de sortie sont respectivement $V_{in}(j\omega)$ et $V_{out}(j\omega)$:

Fonction de Transfert

Généralités

- On ne parle alors plus de gain complexe mais de **Fonction de Transfert**
- Sens physique : c'est une fonction complexe qui définit pour chaque fréquence le gain du montage (proportion de tension d'entrée ramenée en sortie).

Définition

Identique au gain, soit H la fonction de transfert d'un montage dont les tensions d'entrée et de sortie sont respectivement $V_{in}(j\omega)$ et $V_{out}(j\omega)$:

$$H(j\omega) = \frac{V_{out}(j\omega)}{V_{in}(j\omega)}$$

Étude de la Fonction de Transfert (1/2)

Fonction de transfert = fonction complexe

En électronique, on considère le module et l'argument de la fonction de transfert, mis sous la forme :

Étude de la Fonction de Transfert (1/2)

Fonction de transfert = fonction complexe

En électronique, on considère le module et l'argument de la fonction de transfert, mis sous la forme :

- **Gain :** exprimé en décibels (dB), c'est le module en échelle logarithmique,

$$G_{dB} = 20log_{10}(|H(j\omega)|)$$

Étude de la Fonction de Transfert (1/2)

Fonction de transfert = fonction complexe

En électronique, on considère le module et l'argument de la fonction de transfert, mis sous la forme :

- **Gain :** exprimé en décibels (dB), c'est le module en échelle logarithmique,

$$G_{dB} = 20log_{10}(|H(j\omega)|)$$

- **Phase :** en degrés ou radians,

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

Tracé : Diagramme de Bode

Pour représenter la fonction de transfert, on trace :

Étude de la Fonction de Transfert (2/2)

Tracé : Diagramme de Bode

Pour représenter la fonction de transfert, on trace :

- le gain en décibel en fonction de la pulsation (ou fréquence),

Étude de la Fonction de Transfert (2/2)

Tracé : Diagramme de Bode

Pour représenter la fonction de transfert, on trace :

- le gain en décibel en fonction de la pulsation (ou fréquence),
- la phase en fonction de la pulsation, sur la même échelle en abscisses

Étude de la Fonction de Transfert (2/2)

Tracé : Diagramme de Bode

Pour représenter la fonction de transfert, on trace :

- le gain en décibel en fonction de la pulsation (ou fréquence),
- la phase en fonction de la pulsation, sur la même échelle en abscisses

L'axe des abscisses est toujours un axe logarithmique :

Étude de la Fonction de Transfert (2/2)

Tracé : Diagramme de Bode

Pour représenter la fonction de transfert, on trace :

- le gain en décibel en fonction de la pulsation (ou fréquence),
- la phase en fonction de la pulsation, sur la même échelle en abscisses

L'axe des abscisses est toujours un axe logarithmique :

- entre une pulsation ω et 10ω, on parle de décade (subdivision de l'axe).

Étude de la Fonction de Transfert (2/2)

Tracé : Diagramme de Bode

Pour représenter la fonction de transfert, on trace :

- le gain en décibel en fonction de la pulsation (ou fréquence),
- la phase en fonction de la pulsation, sur la même échelle en abscisses

L'axe des abscisses est toujours un axe logarithmique :

- entre une pulsation ω et 10ω, on parle de décade (subdivision de l'axe).
- il n'y a pas de 0 sur l'axe des abscisses, le DC est à l'infini à gauche.

Règles de calcul (1/3)

Remarque

L'étude de la fonction de transfert peut être simple, à condition de :

- savoir retrouver les gains en dB et phases des fonctions de transfert,
- connaître les règles de calcul sur les gains et les phases des fonctions de transfert.

Règles de calcul (2/3)

Soit H une fonction de transfert, les phases sont en radians.

Règles de calcul (2/3)

Soit H une fonction de transfert, les phases sont en radians.

Opposée d'une fonction de transfert (- H)

$$G_{dB}(-H)$$

Règles de calcul (2/3)

Soit H une fonction de transfert, les phases sont en radians.

Opposée d'une fonction de transfert (- H)

$$G_{dB}(-H) = 20log_{10}(|-H|)$$

Règles de calcul (2/3)

Soit H une fonction de transfert, les phases sont en radians.

Opposée d'une fonction de transfert (- H)

$$G_{dB}(-H) = 20log_{10}(|-H|) = 20log_{10}(|H|)$$

Règles de calcul (2/3)

Soit H une fonction de transfert, les phases sont en radians.

Opposée d'une fonction de transfert (- H)

$$G_{dB}(-H) = 20log_{10}(|-H|) = 20log_{10}(|H|) = G_{dB}(H)$$

Règles de calcul (2/3)

Soit H une fonction de transfert, les phases sont en radians.

Opposée d'une fonction de transfert (- H)

$$G_{dB}(-H) = 20log_{10}(|-H|) = 20log_{10}(|H|) = G_{dB}(H)$$

$$\varphi(-H)$$

Règles de calcul (2/3)

Soit H une fonction de transfert, les phases sont en radians.

Opposée d'une fonction de transfert (- H)

$$G_{dB}(-H) = 20log_{10}(|-H|) = 20log_{10}(|H|) = G_{dB}(H)$$

$$\varphi(-H) = arg(-H)$$

Règles de calcul (2/3)

Soit H une fonction de transfert, les phases sont en radians.

Opposée d'une fonction de transfert (- H)

$$G_{dB}(-H) = 20log_{10}(|-H|) = 20log_{10}(|H|) = G_{dB}(H)$$

$$\varphi(-H) = arg(-H) = \pi + arg(H)$$

Règles de calcul (2/3)

Soit H une fonction de transfert, les phases sont en radians.

Opposée d'une fonction de transfert (- H)

$$G_{dB}(-H) = 20log_{10}(|-H|) = 20log_{10}(|H|) = G_{dB}(H)$$

$$\varphi(-H) = arg(-H) = \pi + arg(H) = \pi + \varphi(H)$$

Règles de calcul (2/3)

Soit H une fonction de transfert, les phases sont en radians.

Opposée d'une fonction de transfert (- H)

$$G_{dB}(-H) = 20log_{10}(|-H|) = 20log_{10}(|H|) = G_{dB}(H)$$

$$\varphi(-H) = arg(-H) = \pi + arg(H) = \pi + \varphi(H)$$

Le gain en dB est inchangé, le déphasage est de π.

Règles de calcul (2/3)

Soit H une fonction de transfert, les phases sont en radians.

Opposée d'une fonction de transfert (- H)

$$G_{dB}(-H) = 20log_{10}(|-H|) = 20log_{10}(|H|) = G_{dB}(H)$$

$$\varphi(-H) = arg(-H) = \pi + arg(H) = \pi + \varphi(H)$$

Le gain en dB est inchangé, le déphasage est de π.

Inversion d'une fonction de transfert (1 / H)

$$G_{dB}\left(\frac{1}{H}\right)$$

Règles de calcul (2/3)

Soit H une fonction de transfert, les phases sont en radians.

Opposée d'une fonction de transfert (- H)

$$G_{dB}(-H) = 20log_{10}(|-H|) = 20log_{10}(|H|) = G_{dB}(H)$$

$$\varphi(-H) = arg(-H) = \pi + arg(H) = \pi + \varphi(H)$$

Le gain en dB est inchangé, le déphasage est de π.

Inversion d'une fonction de transfert (1 / H)

$$G_{dB}\left(\frac{1}{H}\right) = 20log_{10}\left(\left|\frac{1}{H}\right|\right) = 20log_{10}\left(\frac{1}{|H|}\right)$$

Règles de calcul (2/3)

Soit H une fonction de transfert, les phases sont en radians.

Opposée d'une fonction de transfert (- H)

$$G_{dB}(-H) = 20log_{10}(|-H|) = 20log_{10}(|H|) = G_{dB}(H)$$

$$\varphi(-H) = arg(-H) = \pi + arg(H) = \pi + \varphi(H)$$

Le gain en dB est inchangé, le déphasage est de π.

Inversion d'une fonction de transfert (1 / H)

$$G_{dB}\left(\frac{1}{H}\right) = 20log_{10}\left(\left|\frac{1}{H}\right|\right) = 20log_{10}\left(\frac{1}{|H|}\right) = 20log_{10}(|H|^{-1})$$

Règles de calcul (2/3)

Soit H une fonction de transfert, les phases sont en radians.

Opposée d'une fonction de transfert (- H)

$$G_{dB}(-H) = 20log_{10}(|-H|) = 20log_{10}(|H|) = G_{dB}(H)$$

$$\varphi(-H) = arg(-H) = \pi + arg(H) = \pi + \varphi(H)$$

Le gain en dB est inchangé, le déphasage est de π.

Inversion d'une fonction de transfert (1 / H)

$$G_{dB}\left(\frac{1}{H}\right) = 20log_{10}\left(\left|\frac{1}{H}\right|\right) = 20log_{10}\left(\frac{1}{|H|}\right) = 20log_{10}(|H|^{-1}) = -20log_{10}(|H|)$$

Règles de calcul (2/3)

Soit H une fonction de transfert, les phases sont en radians.

Opposée d'une fonction de transfert (- H)

$$G_{dB}(-H) = 20log_{10}(|-H|) = 20log_{10}(|H|) = G_{dB}(H)$$

$$\varphi(-H) = arg(-H) = \pi + arg(H) = \pi + \varphi(H)$$

Le gain en dB est inchangé, le déphasage est de π.

Inversion d'une fonction de transfert (1 / H)

$$G_{dB}\left(\frac{1}{H}\right) = 20log_{10}\left(\left|\frac{1}{H}\right|\right) = 20log_{10}\left(\frac{1}{|H|}\right) = 20log_{10}(|H|^{-1}) = -20log_{10}(|H|) = -G_{dB}(H)$$

Règles de calcul (2/3)

Soit H une fonction de transfert, les phases sont en radians.

Opposée d'une fonction de transfert (- H)

$$G_{dB}(-H) = 20log_{10}(|-H|) = 20log_{10}(|H|) = G_{dB}(H)$$

$$\varphi(-H) = arg(-H) = \pi + arg(H) = \pi + \varphi(H)$$

Le gain en dB est inchangé, le déphasage est de π.

Inversion d'une fonction de transfert (1 / H)

$$G_{dB}\left(\frac{1}{H}\right) = 20log_{10}\left(\left|\frac{1}{H}\right|\right) = 20log_{10}\left(\frac{1}{|H|}\right) = 20log_{10}(|H|^{-1}) = -20log_{10}(|H|) = -G_{dB}(H)$$

$$\varphi\left(\frac{1}{H}\right)$$

Règles de calcul (2/3)

Soit H une fonction de transfert, les phases sont en radians.

Opposée d'une fonction de transfert (- H)

$$G_{dB}(-H) = 20log_{10}(|-H|) = 20log_{10}(|H|) = G_{dB}(H)$$

$$\varphi(-H) = arg(-H) = \pi + arg(H) = \pi + \varphi(H)$$

Le gain en dB est inchangé, le déphasage est de π.

Inversion d'une fonction de transfert (1 / H)

$$G_{dB}\left(\frac{1}{H}\right) = 20log_{10}\left(\left|\frac{1}{H}\right|\right) = 20log_{10}\left(\frac{1}{|H|}\right) = 20log_{10}(|H|^{-1}) = -20log_{10}(|H|) = -G_{dB}(H)$$

$$\varphi\left(\frac{1}{H}\right) = arg\left(\frac{1}{H}\right)$$

Règles de calcul (2/3)

Soit H une fonction de transfert, les phases sont en radians.

Opposée d'une fonction de transfert (- H)

$$G_{dB}(-H) = 20log_{10}(|-H|) = 20log_{10}(|H|) = G_{dB}(H)$$

$$\varphi(-H) = arg(-H) = \pi + arg(H) = \pi + \varphi(H)$$

Le gain en dB est inchangé, le déphasage est de π.

Inversion d'une fonction de transfert (1 / H)

$$G_{dB}\left(\frac{1}{H}\right) = 20log_{10}\left(\left|\frac{1}{H}\right|\right) = 20log_{10}\left(\frac{1}{|H|}\right) = 20log_{10}(|H|^{-1}) = -20log_{10}(|H|) = -G_{dB}(H)$$

$$\varphi\left(\frac{1}{H}\right) = arg\left(\frac{1}{H}\right) = arg(1) - arg(H)$$

Règles de calcul (2/3)

Soit H une fonction de transfert, les phases sont en radians.

Opposée d'une fonction de transfert (- H)

$$G_{dB}(-H) = 20log_{10}(|-H|) = 20log_{10}(|H|) = G_{dB}(H)$$

$$\varphi(-H) = arg(-H) = \pi + arg(H) = \pi + \varphi(H)$$

Le gain en dB est inchangé, le déphasage est de π.

Inversion d'une fonction de transfert (1 / H)

$$G_{dB}\left(\frac{1}{H}\right) = 20log_{10}\left(\left|\frac{1}{H}\right|\right) = 20log_{10}\left(\frac{1}{|H|}\right) = 20log_{10}(|H|^{-1}) = -20log_{10}(|H|) = -G_{dB}(H)$$

$$\varphi\left(\frac{1}{H}\right) = arg\left(\frac{1}{H}\right) = arg(1) - arg(H) = -arg(H)$$

Règles de calcul (2/3)

Soit H une fonction de transfert, les phases sont en radians.

Opposée d'une fonction de transfert (- H)

$$G_{dB}(-H) = 20log_{10}(|-H|) = 20log_{10}(|H|) = G_{dB}(H)$$

$$\varphi(-H) = arg(-H) = \pi + arg(H) = \pi + \varphi(H)$$

Le gain en dB est inchangé, le déphasage est de π.

Inversion d'une fonction de transfert (1 / H)

$$G_{dB}\left(\frac{1}{H}\right) = 20log_{10}\left(\left|\frac{1}{H}\right|\right) = 20log_{10}\left(\frac{1}{|H|}\right) = 20log_{10}(|H|^{-1}) = -20log_{10}(|H|) = -G_{dB}(H)$$

$$\varphi\left(\frac{1}{H}\right) = arg\left(\frac{1}{H}\right) = arg(1) - arg(H) = -arg(H) = -\varphi(H)$$

Règles de calcul (2/3)

Soit H une fonction de transfert, les phases sont en radians.

Opposée d'une fonction de transfert (- H)

$$G_{dB}(-H) = 20log_{10}(|-H|) = 20log_{10}(|H|) = G_{dB}(H)$$

$$\varphi(-H) = arg(-H) = \pi + arg(H) = \pi + \varphi(H)$$

Le gain en dB est inchangé, le déphasage est de π.

Inversion d'une fonction de transfert (1 / H)

$$G_{dB}\left(\frac{1}{H}\right) = 20log_{10}\left(\left|\frac{1}{H}\right|\right) = 20log_{10}\left(\frac{1}{|H|}\right) = 20log_{10}(|H|^{-1}) = -20log_{10}(|H|) = -G_{dB}(H)$$

$$\varphi\left(\frac{1}{H}\right) = arg\left(\frac{1}{H}\right) = arg(1) - arg(H) = -arg(H) = -\varphi(H)$$

Le gain en dB et la phase sont opposés.

Règles de calcul (3/3)

Soient H_1 et H_2 deux fonctions de transfert, les phases sont en radians.

Soient H_1 et H_2 deux fonctions de transfert, les phases sont en radians.

Produit de deux fonctions de transfert ($H_1 \cdot H_2$)

$$G_{dB}(H_1 H_2)$$

Soient H_1 et H_2 deux fonctions de transfert, les phases sont en radians.

Produit de deux fonctions de transfert ($H_1 \cdot H_2$)

$$G_{dB}(H_1 H_2) = 20log_{10}(|H_1 H_2|)$$

Règles de calcul (3/3)

Soient H_1 et H_2 deux fonctions de transfert, les phases sont en radians.

Produit de deux fonctions de transfert ($H_1 \cdot H_2$)

$$\begin{aligned} G_{dB}(H_1 H_2) &= 20log_{10}(|H_1 H_2|) \\ &= 20log_{10}(|H_1||H_2|) \end{aligned}$$

Règles de calcul (3/3)

Soient H_1 et H_2 deux fonctions de transfert, les phases sont en radians.

Produit de deux fonctions de transfert ($H_1 \cdot H_2$)

$$\begin{aligned} G_{dB}(H_1 H_2) &= 20log_{10}(|H_1 H_2|) \\ &= 20log_{10}(|H_1||H_2|) \\ &= 20[log_{10}(|H_1|) + log_{10}(|H_2|)] \end{aligned}$$

Soient H_1 et H_2 deux fonctions de transfert, les phases sont en radians.

Produit de deux fonctions de transfert ($H_1 \cdot H_2$)

$$\begin{aligned}
G_{dB}(H_1 H_2) &= 20log_{10}(|H_1 H_2|) \\
&= 20log_{10}(|H_1||H_2|) \\
&= 20[log_{10}(|H_1|) + log_{10}(|H_2|)] \\
&= 20log_{10}(|H_1|) + 20log_{10}(|H_2|)
\end{aligned}$$

Règles de calcul (3/3)

Soient H_1 et H_2 deux fonctions de transfert, les phases sont en radians.

Produit de deux fonctions de transfert ($H_1 \cdot H_2$)

$$
\begin{aligned}
G_{dB}(H_1 H_2) &= 20log_{10}(|H_1 H_2|) \\
&= 20log_{10}(|H_1||H_2|) \\
&= 20[log_{10}(|H_1|) + log_{10}(|H_2|)] \\
&= 20log_{10}(|H_1|) + 20log_{10}(|H_2|) \\
&= G_1 + G_2
\end{aligned}
$$

Règles de calcul (3/3)

Soient H_1 et H_2 deux fonctions de transfert, les phases sont en radians.

Produit de deux fonctions de transfert ($H_1 \cdot H_2$)

$$\begin{aligned} G_{dB}(H_1 H_2) &= 20log_{10}(|H_1 H_2|) \\ &= 20log_{10}(|H_1||H_2|) \\ &= 20[log_{10}(|H_1|) + log_{10}(|H_2|)] \\ &= 20log_{10}(|H_1|) + 20log_{10}(|H_2|) \\ &= G_1 + G_2 \end{aligned}$$

$$\varphi(H_1 H_2) = arg(H_1 H_2)$$

Règles de calcul (3/3)

Soient H_1 et H_2 deux fonctions de transfert, les phases sont en radians.

Produit de deux fonctions de transfert ($H_1 \cdot H_2$)

$$\begin{aligned}
G_{dB}(H_1 H_2) &= 20log_{10}(|H_1 H_2|) \\
&= 20log_{10}(|H_1||H_2|) \\
&= 20[log_{10}(|H_1|) + log_{10}(|H_2|)] \\
&= 20log_{10}(|H_1|) + 20log_{10}(|H_2|) \\
&= G_1 + G_2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\varphi(H_1 H_2) &= arg(H_1 H_2) \\
&= arg(H_1) + arg(H_2)
\end{aligned}$$

Soient H_1 et H_2 deux fonctions de transfert, les phases sont en radians.

Produit de deux fonctions de transfert ($H_1 \cdot H_2$)

$$\begin{aligned} G_{dB}(H_1 H_2) &= 20log_{10}(|H_1 H_2|) \\ &= 20log_{10}(|H_1||H_2|) \\ &= 20[log_{10}(|H_1|) + log_{10}(|H_2|)] \\ &= 20log_{10}(|H_1|) + 20log_{10}(|H_2|) \\ &= G_1 + G_2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \varphi(H_1 H_2) &= arg(H_1 H_2) \\ &= arg(H_1) + arg(H_2) \\ &= \varphi_1 + \varphi_2 \end{aligned}$$

Règles de calcul (3/3)

Soient H_1 et H_2 deux fonctions de transfert, les phases sont en radians.

Produit de deux fonctions de transfert ($H_1 \cdot H_2$)

$$\begin{aligned} G_{dB}(H_1 H_2) &= 20log_{10}(|H_1 H_2|) \\ &= 20log_{10}(|H_1||H_2|) \\ &= 20[log_{10}(|H_1|) + log_{10}(|H_2|)] \\ &= 20log_{10}(|H_1|) + 20log_{10}(|H_2|) \\ &= G_1 + G_2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \varphi(H_1 H_2) &= arg(H_1 H_2) \\ &= arg(H_1) + arg(H_2) \\ &= \varphi_1 + \varphi_2 \end{aligned}$$

Les gains en dB et les phases s'additionnent.

Diagramme de Bode des fonctions simples

$H(j\omega) = K$

on pose

$$H(j\omega) = K$$

avec K une constante positive ($K \geq 0$),

on pose

$$H(j\omega) = K$$

avec K une constante positive ($K \geq 0$),

Gain

$$G_{dB}(H)$$

on pose

$$H(j\omega) = K$$

avec K une constante positive ($K \geq 0$),

Gain

$$G_{dB}(H) = 20log_{10}(|K|)$$

on pose

$$H(j\omega) = K$$

avec K une constante positive ($K \geq 0$),

Gain

$$\begin{aligned} G_{dB}(H) &= 20log_{10}(|K|) \\ &= 20log_{10}(K) \end{aligned}$$

on pose

$$H(j\omega) = K$$

avec K une constante positive ($K \geq 0$),

Gain

$$\begin{aligned} G_{dB}(H) &= 20log_{10}(|K|) \\ &= 20log_{10}(K) \end{aligned}$$

Phase

$$\varphi(H)$$

$H(j\omega) = K$

on pose

$$H(j\omega) = K$$

avec K une constante positive ($K \geq 0$),

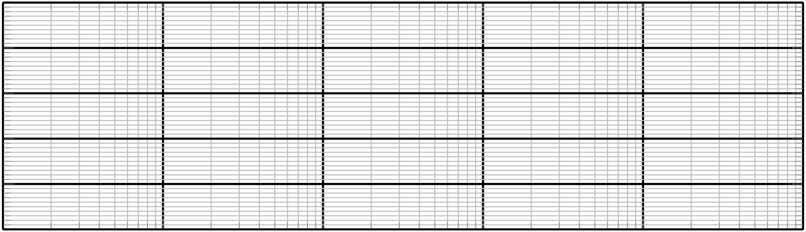
Gain

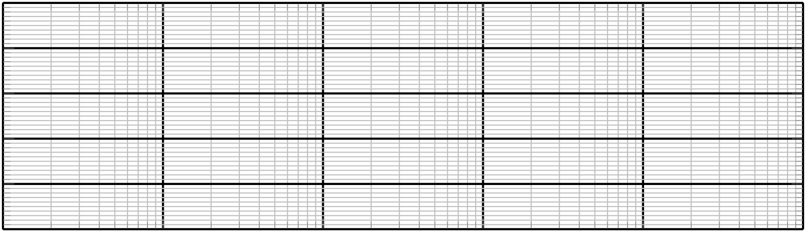
$$\begin{aligned} G_{dB}(H) &= 20log_{10}(|K|) \\ &= 20log_{10}(K) \end{aligned}$$

Phase

$$\varphi(H) = arg(K) = 0$$

$H(j\omega) = K$





$H(j\omega) = j\frac{\omega}{\omega_0}$

on pose

$$H(j\omega) = j\frac{\omega}{\omega_0}$$

avec ω_0 une pulsation constante positive ($\omega_0 > 0$),

$H(j\omega) = j\frac{\omega}{\omega_0}$

on pose

$$H(j\omega) = j\frac{\omega}{\omega_0}$$

avec ω_0 une pulsation constante positive ($\omega_0 > 0$),

Gain

$$G_{dB}(H)$$

on pose

$$H(j\omega) = j\frac{\omega}{\omega_0}$$

avec ω_0 une pulsation constante positive ($\omega_0 > 0$),

Gain

$$G_{dB}(H) = 20log_{10}\left(\left|j\frac{\omega}{\omega_0}\right|\right)$$

on pose

$$H(j\omega) = j\frac{\omega}{\omega_0}$$

avec ω_0 une pulsation constante positive ($\omega_0 > 0$),

Gain

$$\begin{aligned} G_{dB}(H) &= 20log_{10}\left(\left|j\frac{\omega}{\omega_0}\right|\right) \\ &= 20log_{10}\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right) \end{aligned}$$

on pose

$$H(j\omega) = j\frac{\omega}{\omega_0}$$

avec ω_0 une pulsation constante positive ($\omega_0 > 0$),

Gain

$$\begin{aligned} G_{dB}(H) &= 20log_{10}\left(\left|j\frac{\omega}{\omega_0}\right|\right) \\ &= 20log_{10}\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right) \end{aligned}$$

Valeurs particulières :

- $G_{dB}(\omega = \omega_0) = 20log_{10}(1) = 0$

$H(j\omega) = j\frac{\omega}{\omega_0}$

on pose

$$H(j\omega) = j\frac{\omega}{\omega_0}$$

avec ω_0 une pulsation constante positive ($\omega_0 > 0$),

Gain

$$\begin{aligned} G_{dB}(H) &= 20log_{10}\left(\left|j\frac{\omega}{\omega_0}\right|\right) \\ &= 20log_{10}\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right) \end{aligned}$$

Valeurs particulières :

- $G_{dB}(\omega = \omega_0) = 20log_{10}(1) = 0$
- $G_{dB}(\omega = 10^x\omega_0) = 20log_{10}(10^x) = 20x$

on pose

$$H(j\omega) = j\frac{\omega}{\omega_0}$$

avec ω_0 une pulsation constante positive ($\omega_0 > 0$),

Gain

$$\begin{aligned} G_{dB}(H) &= 20log_{10}\left(\left|j\frac{\omega}{\omega_0}\right|\right) \\ &= 20log_{10}\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right) \end{aligned}$$

Valeurs particulières :

- $G_{dB}(\omega = \omega_0) = 20log_{10}(1) = 0$
- $G_{dB}(\omega = 10^x\omega_0) = 20log_{10}(10^x) = 20x$

Phase

$$\varphi(H)$$

on pose

$$H(j\omega) = j\frac{\omega}{\omega_0}$$

avec ω_0 une pulsation constante positive ($\omega_0 > 0$),

Gain

$$G_{dB}(H) = 20log_{10}\left(\left|j\frac{\omega}{\omega_0}\right|\right) = 20log_{10}\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)$$

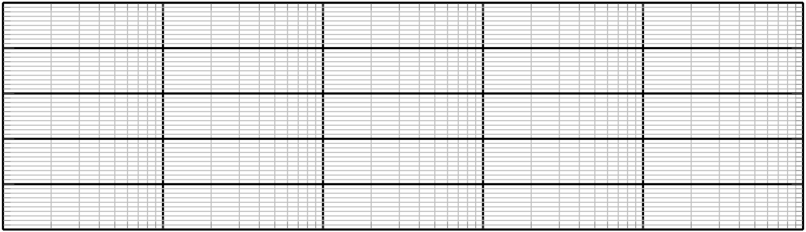
Valeurs particulières :

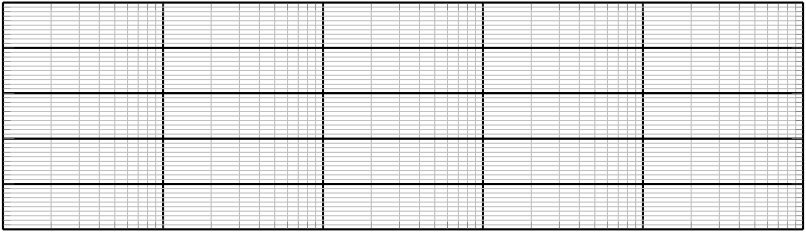
- $G_{dB}(\omega = \omega_0) = 20log_{10}(1) = 0$
- $G_{dB}(\omega = 10^x\omega_0) = 20log_{10}(10^x) = 20x$

Phase

$$\varphi(H) = arg\left(j\frac{\omega}{\omega_0}\right) = atan\left(\frac{\frac{\omega}{\omega_0}}{0}\right) = \frac{\pi}{2}$$

$H(j\omega) = j\frac{\omega}{\omega_0}$





$H(j\omega) = 1 + j\frac{\omega}{\omega_0}$

on pose

$$H(j\omega) = 1 + j\frac{\omega}{\omega_0}$$

avec ω_0 une pulsation constante positive ($\omega_0 > 0$),

$H(j\omega) = 1 + j\frac{\omega}{\omega_0}$

on pose

$$H(j\omega) = 1 + j\frac{\omega}{\omega_0}$$

avec ω_0 une pulsation constante positive ($\omega_0 > 0$),

Gain

$$G_{dB}(H)$$

on pose

$$H(j\omega) = 1 + j\frac{\omega}{\omega_0}$$

avec ω_0 une pulsation constante positive ($\omega_0 > 0$),

Gain

$$G_{dB}(H) = 20log_{10}\left(\left|1 + j\frac{\omega}{\omega_0}\right|\right)$$

$H(j\omega) = 1 + j\frac{\omega}{\omega_0}$

on pose

$$H(j\omega) = 1 + j\frac{\omega}{\omega_0}$$

avec ω_0 une pulsation constante positive ($\omega_0 > 0$),

Gain

$$\begin{aligned} G_{dB}(H) &= 20log_{10}\left(\left|1 + j\frac{\omega}{\omega_0}\right|\right) \\ &= 20log_{10}\left(\sqrt{1^2 + \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2}\right) \end{aligned}$$

$H(j\omega) = 1 + j\frac{\omega}{\omega_0}$

on pose

$$H(j\omega) = 1 + j\frac{\omega}{\omega_0}$$

avec ω_0 une pulsation constante positive ($\omega_0 > 0$),

Gain

$$\begin{aligned} G_{dB}(H) &= 20log_{10}\left(\left|1 + j\frac{\omega}{\omega_0}\right|\right) \\ &= 20log_{10}\left(\sqrt{1^2 + \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2}\right) \end{aligned}$$

Valeurs particulières :

- $G_{dB}(\omega = \omega_0) = 20log_{10}\left(\sqrt{1^2 + 1^2}\right) = 20log_{10}\sqrt{2} \approx 3$

$H(j\omega) = 1 + j\frac{\omega}{\omega_0}$

on pose

$$H(j\omega) = 1 + j\frac{\omega}{\omega_0}$$

avec ω_0 une pulsation constante positive ($\omega_0 > 0$),

Gain

$$\begin{aligned} G_{dB}(H) &= 20log_{10}\left(\left|1 + j\frac{\omega}{\omega_0}\right|\right) \\ &= 20log_{10}\left(\sqrt{1^2 + \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2}\right) \end{aligned}$$

Valeurs particulières :

- $G_{dB}(\omega = \omega_0) = 20log_{10}\left(\sqrt{1^2 + 1^2}\right) = 20log_{10}\sqrt{2} \approx 3$
- $G_{dB}(\omega = 10^x\omega_0) = 20log_{10}(\sqrt{1^2 + 10^{2x}})$

on pose

$$H(j\omega) = 1 + j\frac{\omega}{\omega_0}$$

avec ω_0 une pulsation constante positive ($\omega_0 > 0$),

Gain

$$G_{dB}(H) = 20log_{10}\left(\left|1 + j\frac{\omega}{\omega_0}\right|\right)$$
$$= 20log_{10}\left(\sqrt{1^2 + \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2}\right)$$

Valeurs particulières :

- $G_{dB}(\omega = \omega_0) = 20log_{10}\left(\sqrt{1^2 + 1^2}\right) = 20log_{10}\sqrt{2} \approx 3$
- $G_{dB}(\omega = 10^x\omega_0) = 20log_{10}(\sqrt{1^2 + 10^{2x}})$
  - Si $10^{2x} \ll 1$, $G_{dB} \approx 20log_{10}(\sqrt{1}) = 0$

$H(j\omega) = 1 + j\frac{\omega}{\omega_0}$

on pose

$$H(j\omega) = 1 + j\frac{\omega}{\omega_0}$$

avec ω_0 une pulsation constante positive ($\omega_0 > 0$),

Gain

$$\begin{aligned} G_{dB}(H) &= 20log_{10}\left(\left|1 + j\frac{\omega}{\omega_0}\right|\right) \\ &= 20log_{10}\left(\sqrt{1^2 + \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2}\right) \end{aligned}$$

Valeurs particulières :

- $G_{dB}(\omega = \omega_0) = 20log_{10}\left(\sqrt{1^2 + 1^2}\right) = 20log_{10}\sqrt{2} \approx 3$
- $G_{dB}(\omega = 10^x\omega_0) = 20log_{10}(\sqrt{1^2 + 10^{2x}})$
  - Si $10^{2x} \ll 1$, $G_{dB} \approx 20log_{10}(\sqrt{1}) = 0$
  - Si $10^{2x} \gg 1$, $G_{dB} \approx 20log_{10}(\sqrt{10^{2x}}) = 20log_{10}(10^x) = 20x$

$H(j\omega) = 1 + j\frac{\omega}{\omega_0}$

on pose

$$H(j\omega) = 1 + j\frac{\omega}{\omega_0}$$

avec ω_0 une pulsation constante positive ($\omega_0 > 0$),

Phase

$$\varphi(H)$$

$H(j\omega) = 1 + j\frac{\omega}{\omega_0}$

on pose

$$H(j\omega) = 1 + j\frac{\omega}{\omega_0}$$

avec ω_0 une pulsation constante positive ($\omega_0 > 0$),

Phase

$$\varphi(H) = arg\left(1 + j\frac{\omega}{\omega_0}\right) = atan\left(\frac{\frac{\omega}{\omega_0}}{1}\right) = atan\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)$$

$H(j\omega) = 1 + j\frac{\omega}{\omega_0}$

on pose

$$H(j\omega) = 1 + j\frac{\omega}{\omega_0}$$

avec ω_0 une pulsation constante positive ($\omega_0 > 0$),

Phase

$$\varphi(H) = arg\left(1 + j\frac{\omega}{\omega_0}\right) = atan\left(\frac{\frac{\omega}{\omega_0}}{1}\right) = atan\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)$$

Valeurs particulières :

$H(j\omega) = 1 + j\frac{\omega}{\omega_0}$

on pose

$$H(j\omega) = 1 + j\frac{\omega}{\omega_0}$$

avec ω_0 une pulsation constante positive ($\omega_0 > 0$),

Phase

$$\varphi(H) = arg\left(1 + j\frac{\omega}{\omega_0}\right) = atan\left(\frac{\frac{\omega}{\omega_0}}{1}\right) = atan\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)$$

Valeurs particulières :

- $\varphi(\omega = \omega_0) = atan(1) = \frac{\pi}{4}$

$H(j\omega) = 1 + j\frac{\omega}{\omega_0}$

on pose

$$H(j\omega) = 1 + j\frac{\omega}{\omega_0}$$

avec ω_0 une pulsation constante positive ($\omega_0 > 0$),

Phase

$$\varphi(H) = arg\left(1 + j\frac{\omega}{\omega_0}\right) = atan\left(\frac{\frac{\omega}{\omega_0}}{1}\right) = atan\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)$$

Valeurs particulières :

- $\varphi(\omega = \omega_0) = atan(1) = \frac{\pi}{4}$
- $\varphi(\omega \ll \omega_0) \approx atan(0) = 0$

$H(j\omega) = 1 + j\frac{\omega}{\omega_0}$

on pose

$$H(j\omega) = 1 + j\frac{\omega}{\omega_0}$$

avec ω_0 une pulsation constante positive ($\omega_0 > 0$),

Phase

$$\varphi(H) = arg\left(1 + j\frac{\omega}{\omega_0}\right) = atan\left(\frac{\frac{\omega}{\omega_0}}{1}\right) = atan\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)$$

Valeurs particulières :

- $\varphi(\omega = \omega_0) = atan(1) = \frac{\pi}{4}$
- $\varphi(\omega \ll \omega_0) \approx atan(0) = 0$
- $\varphi(\omega \gg \omega_0) \approx atan(\infty) = \frac{\pi}{2}$

$H(j\omega) = 1 + j\frac{\omega}{\omega_0}$