

Cours d'électronique : Introduction à l'électronique analogique spécialisée

A. Arciniegas
V. Gauthier

IUT Cergy-Pontoise, Dep GEII, site de Neuville



- 1 Avant propos
- 2 Rappels : Généralités sur l'Amplification
- 3 Rappels : Régime Sinusoïdal Permanent et Outils Mathématiques
- 4 Types d'Amplificateurs

Avant propos

Pré-requis

- Utiliser les lois fondamentales et théorèmes généraux de l'électricité ;
- Utiliser les concepts fondamentaux sur les diodes et les transistors.

Pré-requis

- Utiliser les lois fondamentales et théorèmes généraux de l'électricité ;
- Utiliser les concepts fondamentaux sur les diodes et les transistors.

Contenu et objectifs

- Concevoir une alimentation ;
- Étudier les topologies d'amplificateurs à transistors bipolaires ;
- Comprendre la philosophie d'amplification multi-étage ;
- Utiliser les techniques de conception pour les étages d'entrée et de sortie des systèmes amplificateurs.

Pré-requis

- Utiliser les lois fondamentales et théorèmes généraux de l'électricité ;
- Utiliser les concepts fondamentaux sur les diodes et les transistors.

Contenu et objectifs

- Concevoir une alimentation ;
- Étudier les topologies d'amplificateurs à transistors bipolaires ;
- Comprendre la philosophie d'amplification multi-étage ;
- Utiliser les techniques de conception pour les étages d'entrée et de sortie des systèmes amplificateurs.

Déroulement du module

- 10,5 heures Cours/TD
- 12 heures TP

Structure générale d'un montage électronique

La plupart des processus physiques peuvent être décomposés de la manière suivante :

Structure générale d'un montage électronique

La plupart des processus physiques peuvent être décomposés de la manière suivante :

- un élément de *commande* de faible puissance,



Structure générale d'un montage électronique

La plupart des processus physiques peuvent être décomposés de la manière suivante :

- un élément de *commande* de faible puissance,
- un élément de *liaison*,



Structure générale d'un montage électronique

La plupart des processus physiques peuvent être décomposés de la manière suivante :

- un élément de *commande* de faible puissance,
- un élément de *liaison*,
- un élément *récepteur* de forte puissance



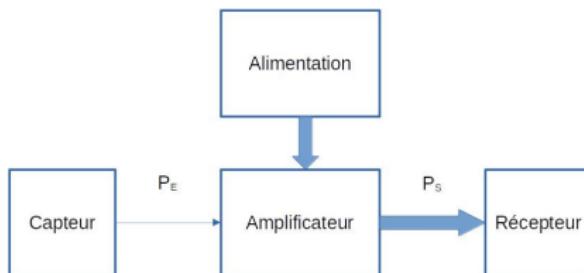
Structure générale d'un montage électronique

Objectif : rendre compatible les circuits de puissances très différentes.

Structure générale d'un montage électronique

Objectif : rendre compatible les circuits de puissances très différentes.

Solution : utilisation d'un **amplificateur** en tant que dispositif de liaison.



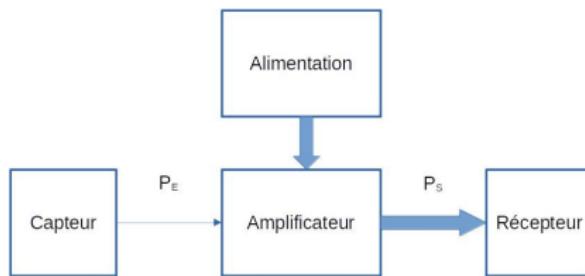
avec :

- P_E : Puissance d'entrée
- P_S : Puissance de sortie
- $A_p = \frac{P_S}{P_E}$: Amplification en puissance
- $G_p = 10\log_{10}A_p$: Gain en puissance en dB

Structure générale d'un montage électronique

Objectif : rendre compatible les circuits de puissances très différentes.

Solution : utilisation d'un **amplificateur** en tant que dispositif de liaison.



Remarque

Cette augmentation de puissance ne se fait pas spontanément, c'est pourquoi il est nécessaire l'utilisation d'une **alimentation**.

Généralités sur l'Amplification

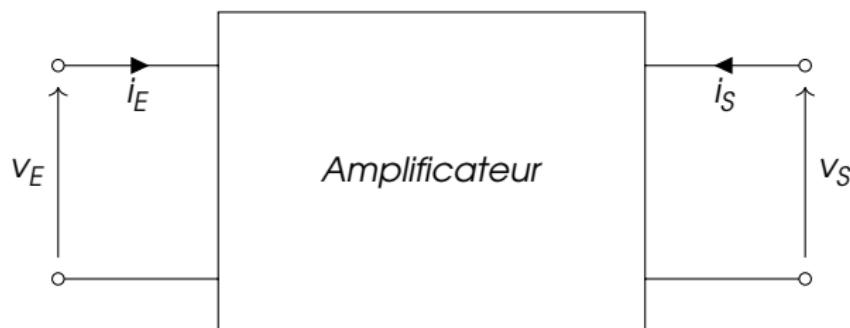
Régimes de fonctionnement (1/2)

Du point de vue fonctionnel, un amplificateur peut être assimilé à un **quadripôle** :



Régimes de fonctionnement (1/2)

Du point de vue fonctionnel, un amplificateur peut être assimilé à un **quadripôle** :



Remarques

- Par convention, les courants sont toujours orientés entrant dans le quadripôle.

Régimes de fonctionnement (1/2)

Du point de vue fonctionnel, un amplificateur peut être assimilé à un **quadripôle** :



Remarques

- Par convention, les courants sont toujours orientés entrant dans le quadripôle.
- Les courants et les tensions peuvent être ou non fonction du temps.

Régimes de fonctionnement (1/2)

Du point de vue fonctionnel, un amplificateur peut être assimilé à un **quadripôle** :



Remarques

- Par convention, les courants sont toujours orientés entrant dans le quadripôle.
- Les courants et les tensions peuvent être ou non fonction du temps.

On distingue deux régimes de fonctionnement :

Régimes de fonctionnement (1/2)

Du point de vue fonctionnel, un amplificateur peut être assimilé à un **quadripôle** :



Remarques

- Par convention, les courants sont toujours orientés entrant dans le quadripôle.
- Les courants et les tensions peuvent être ou non fonction du temps.

On distingue deux régimes de fonctionnement :

- Régime continu

Régimes de fonctionnement (1/2)

Du point de vue fonctionnel, un amplificateur peut être assimilé à un **quadripôle** :



Remarques

- Par convention, les courants sont toujours orientés entrant dans le quadripôle.
- Les courants et les tensions peuvent être ou non fonction du temps.

On distingue deux régimes de fonctionnement :

- Régime continu
- Régime variable

Régime continu

Définition : Lorsque les grandeurs d'étude sont constantes, donc indépendantes du temps, notations majuscules (U, I, P...).

Régime continu

Définition : Lorsque les grandeurs d'étude sont constantes, donc indépendantes du temps, notations majuscules (U, I, P...).

L'état du fonctionnement de l'amplificateur est alors appelé **état de repos**.

Régime variable

Définition : Lorsque les grandeurs d'étude sont variables en fonction du temps, notations minuscules ($u(t)$, $i(t)$, $p(t)$...).

Régime variable

Définition : Lorsque les grandeurs d'étude sont variables en fonction du temps, notations minuscules ($u(t)$, $i(t)$, $p(t)$...).

De façon générale, nous allons exprimer la valeur d'une grandeur :

valeur instantanée = valeur de repos + variation par rapport au repos

Régime variable

Définition : Lorsque les grandeurs d'étude sont variables en fonction du temps, notations minuscules ($u(t)$, $i(t)$, $p(t)$...).

De façon générale, nous allons exprimer la valeur d'une grandeur :

valeur instantanée = valeur de repos + variation par rapport au repos

Exemples :

- $v_E(t) = V_E + v_e(t)$
- $v_S(t) = V_S + v_s(t)$

Régime variable

Définition : Lorsque les grandeurs d'étude sont variables en fonction du temps, notations minuscules ($u(t)$, $i(t)$, $p(t)$...).

De façon générale, nous allons exprimer la valeur d'une grandeur :

valeur instantanée = valeur de repos + variation par rapport au repos

Exemples :

- $v_E(t) = V_E + v_e(t)$
- $v_S(t) = V_S + v_s(t)$

Par ailleurs, les signaux traités par les systèmes électroniques sont décomposables en une somme pondérée de signaux sinusoïdaux (**Série de Fourier**) :

$$f(t) = F + f_{1m}\sin(\omega t + \varphi_1) + \dots + f_{km}\sin(k\omega t + \varphi_k) + \dots$$

avec :

- F : **composante continue** ;
- $f_{1m}\sin(\omega t + \varphi_1)$: **terme fondamental** ;
- $f_{km}\sin(k\omega t + \varphi_k)$: **terme harmonique de rang k** ;
- et dont sa représentation graphique est appelée **spectre du signal**.

Régime variable

Définition : Lorsque les grandeurs d'étude sont variables en fonction du temps, notations minuscules ($u(t)$, $i(t)$, $p(t)$...).

Le régime de fonctionnement pour une entrée sinusoïdale est appelé **régime harmonique**.

De façon générale, nous allons exprimer la valeur d'une grandeur :

valeur instantanée = valeur de repos + variation par rapport au repos

Exemples :

- $v_E(t) = V_E + v_e(t)$
- $v_S(t) = V_S + v_s(t)$

Par ailleurs, les signaux traités par les systèmes électroniques sont décomposables en une somme pondérée de signaux sinusoïdaux (**Série de Fourier**) :

$$f(t) = F + f_{1m}\sin(\omega t + \varphi_1) + \dots + f_{km}\sin(k\omega t + \varphi_k) + \dots$$

avec :

- F : **composante continue** ;
- $f_{1m}\sin(\omega t + \varphi_1)$: **terme fondamental** ;
- $f_{km}\sin(k\omega t + \varphi_k)$: **terme harmonique de rang k** ;
- et dont sa représentation graphique est appelée **spectre du signal**.

Régime Sinusoïdal Permanent et Outils Mathématiques

Définition

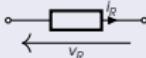
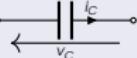
Un système est dit « linéaire » si les relations entre les différentes grandeurs sont des relations différentielles à coefficients constants.

Définition

Un système est dit « linéaire » si les relations entre les différentes grandeurs sont des relations différentielles à coefficients constants.

Lois de comportement des composants passifs

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

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

Définition

Un système est dit « linéaire » si les relations entre les différentes grandeurs sont des relations différentielles à coefficients constants.

Dans un système linéaire, en régime harmonique ou sinusoïdal permanent (RSP), toutes les grandeurs sont sinusoïdales.

Définition

Un système est dit « linéaire » si les relations entre les différentes grandeurs sont des relations différentielles à coefficients constants.

Dans un système linéaire, en régime harmonique ou sinusoïdal permanent (RSP), toutes les grandeurs sont sinusoïdales.

Remarques

- Les amplificateurs sont constitués d'éléments non linéaires.

Définition

Un système est dit « linéaire » si les relations entre les différentes grandeurs sont des relations différentielles à coefficients constants.

Dans un système linéaire, en régime harmonique ou sinusoïdal permanent (RSP), toutes les grandeurs sont sinusoïdales.

Remarques

- Les amplificateurs sont constitués d'éléments non linéaires.
- Il en résulte, pour une entrée sinusoïdale quelconque, des grandeurs de sortie qui sont seulement périodiques et non sinusoïdales.

Définition

Un système est dit « linéaire » si les relations entre les différentes grandeurs sont des relations différentielles à coefficients constants.

Dans un système linéaire, en régime harmonique ou sinusoïdal permanent (RSP), toutes les grandeurs sont sinusoïdales.

Remarques

- Les amplificateurs sont constitués d'éléments non linéaires.
- Il en résulte, pour une entrée sinusoïdale quelconque, des grandeurs de sortie qui sont seulement périodiques et non sinusoïdales.

On parle alors de **distorsion**. Elle peut être évaluée à partir de la décomposition en Série de Fourier du signal périodique.

Définition

Un système est dit « linéaire » si les relations entre les différentes grandeurs sont des relations différentielles à coefficients constants.

Dans un système linéaire, en régime harmonique ou sinusoïdal permanent (RSP), toutes les grandeurs sont sinusoïdales.

Remarques

- Les amplificateurs sont constitués d'éléments non linéaires.
- Il en résulte, pour une entrée sinusoïdale quelconque, des grandeurs de sortie qui sont seulement périodiques et non sinusoïdales.

On parle alors de **distorsion**. Elle peut être évaluée à partir de la décomposition en Série de Fourier du signal périodique.

Distorsion

On définit la distorsion :

- de l'harmonique k , $d_k = \frac{f_{km}}{f_{1m}}$.

Régimes linéaire et non linéaire

Définition

Un système est dit « linéaire » si les relations entre les différentes grandeurs sont des relations différentielles à coefficients constants.

Dans un système linéaire, en régime harmonique ou sinusoïdal permanent (RSP), toutes les grandeurs sont sinusoïdales.

Remarques

- Les amplificateurs sont constitués d'éléments non linéaires.
- Il en résulte, pour une entrée sinusoïdale quelconque, des grandeurs de sortie qui sont seulement périodiques et non sinusoïdales.

On parle alors de **distorsion**. Elle peut être évaluée à partir de la décomposition en Série de Fourier du signal périodique.

Distorsion

On définit la distorsion :

- de l'harmonique k , $d_k = \frac{f_{km}}{f_{1m}}$.
- totale d'un signal périodique, $d_t = \sqrt{\frac{f_{2m}^2 + f_{3m}^2 + \dots + f_{km}^2}{f_{1m}^2}}$.

Régimes linéaire et non linéaire

Dans un système linéaire, en régime harmonique ou sinusoïdal permanent (RSP), toutes les grandeurs sont sinusoïdales.

Remarques

- Les amplificateurs sont constitués d'éléments non linéaires.
- Il en résulte, pour une entrée sinusoïdale quelconque, des grandeurs de sortie qui sont seulement périodiques et non sinusoïdales.

On parle alors de **distorsion**. Elle peut être évaluée à partir de la décomposition en Série de Fourier du signal périodique.

Distorsion

On définit la distorsion :

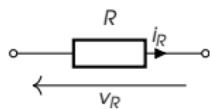
- de l'harmonique k , $d_k = \frac{f_{km}}{f_{1m}}$.
- totale d'un signal périodique, $d_t = \sqrt{\frac{f_{2m}^2 + f_{3m}^2 + \dots + f_{km}^2 + \dots}{f_{1m}^2}}$.

Lorsque les amplitudes des signaux d'entrée sont faibles vis à vis de l'état de repos, on peut avec une précision raisonnable, considérer que le système se comporte comme un système linéaire. On parle alors du **régime de petits signaux**.

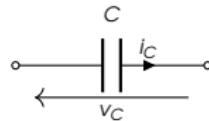
Composants passifs en RSP

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

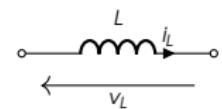
Résistance



Capacité



Inductance



$\omega \rightarrow 0$

$$Z_R =$$

$$Z_L \rightarrow$$

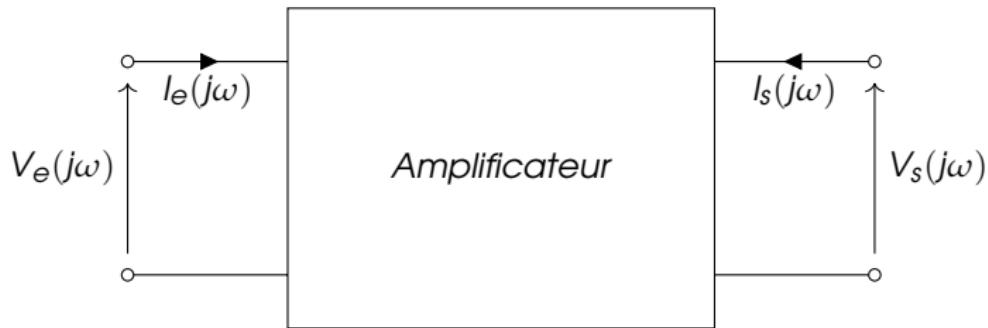
$\omega \rightarrow \infty$

$$Z_R =$$

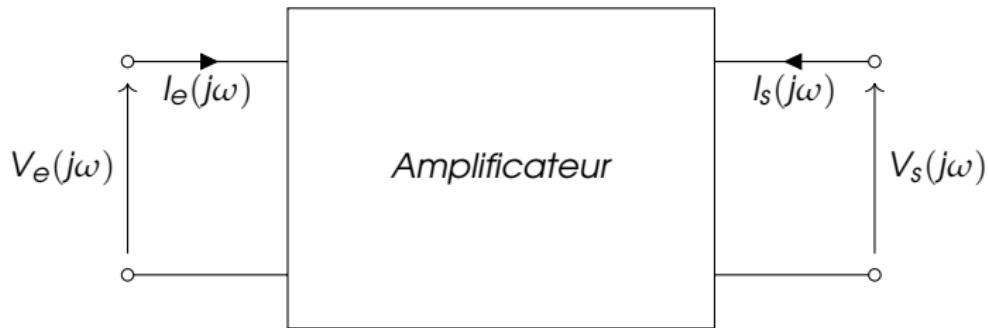
$$Z_C \rightarrow$$

$$Z_L \rightarrow$$

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

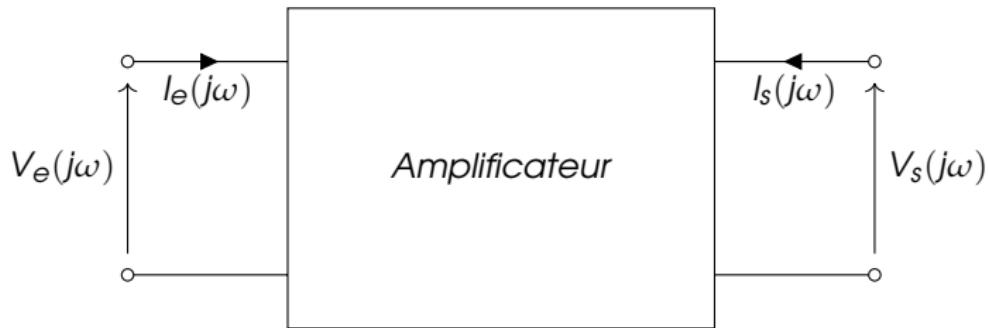


Du point de vue fonctionnel, on peut toujours étudier un circuit à 1 entrée/sortie en utilisant l'approche vue sur les quadripôles :



et on peut exprimer en **complexe (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 (C)** les propriétés habituelles :

- l'impédance d'entrée $Z_e(j\omega)$ (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 (C)** les propriétés habituelles :

- l'impédance d'entrée $Z_e(j\omega)$ (et non plus la résistance d'entrée),
- l'impédance de sortie $Z_s(j\omega)$ (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 (C)** les propriétés habituelles :

- l'impédance d'entrée $Z_e(j\omega)$ (et non plus la résistance d'entrée),
- l'impédance de sortie $Z_s(j\omega)$ (et non plus la résistance de sortie),
- le gain

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 grandeur 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 grandeur 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 $V_e(j\omega)$ et $V_s(j\omega)$:

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 grandeur 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 $V_e(j\omega)$ et $V_s(j\omega)$:

$$H(j\omega) = \frac{V_s(j\omega)}{V_e(j\omega)}$$

Fonction de transfert = fonction complexe

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

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,

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

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,

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

- **Phase** : en degrés ou radians,

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

Tracé : Diagramme de Bode

Pour représenter la fonction de transfert, on trace :

Tracé : Diagramme de Bode

Pour représenter la fonction de transfert, on trace :

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

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

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 :

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).

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.

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 ($-H$)

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

Règles de calcul (2/3)

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

Opposée d'une fonction de transfert ($-H$)

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

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

Règles de calcul (2/3)

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

Opposée d'une fonction de transfert ($-H$)

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

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

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 ($-H$)

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

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

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

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

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

Règles de calcul (2/3)

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

Opposée d'une fonction de transfert ($-H$)

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

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

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

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

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

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

Règles de calcul (2/3)

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

Opposée d'une fonction de transfert ($-H$)

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

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

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

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

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

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

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 ($H_1 \cdot H_2$)

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

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 ($H_1 \cdot H_2$)

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

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

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 ($H_1 \cdot H_2$)

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

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

Les gains en dB et les phases s'additionnent.

Types d'Amplificateurs

Types d'amplificateurs

Les amplificateurs sont classés en fonction de :

Types d'amplificateurs

Les amplificateurs sont classés en fonction de :

- l'utilisation : amplificateur de tension, de courant, de puissance ;

Types d'amplificateurs

Les amplificateurs sont classés en fonction de :

- l'utilisation : amplificateur de tension, de courant, de puissance ;
- la courbe de réponse : passe-bas, passe-haut, passe-bande, réjecteur de bande.

Types d'amplificateurs

Les amplificateurs sont classés en fonction de :

- l'utilisation : amplificateur de tension, de courant, de puissance ;
- la courbe de réponse : passe-bas, passe-haut, passe-bande, réjecteur de bande.

Classifications

Suivant l'utilisation :

- **Préamplificateur** : amplificateur de tension ou de courant, travaille en régime linéaire ;

Types d'amplificateurs

Les amplificateurs sont classés en fonction de :

- l'utilisation : amplificateur de tension, de courant, de puissance ;
- la courbe de réponse : passe-bas, passe-haut, passe-bande, réjecteur de bande.

Classifications

Suivant l'utilisation :

- **Préamplificateur** : amplificateur de tension ou de courant, travaille en régime linéaire ;
- **Amplificateur de puissance** : travaille en régime de grands signaux.

Types d'amplificateurs

Les amplificateurs sont classés en fonction de :

- l'utilisation : amplificateur de tension, de courant, de puissance ;
- la courbe de réponse : passe-bas, passe-haut, passe-bande, réjecteur de bande.

Classifications

Suivant l'utilisation :

- **Préamplificateur** : amplificateur de tension ou de courant, travaille en régime linéaire ;
- **Amplificateur de puissance** : travaille en régime de grands signaux.

Suivant la courbe de réponse :

- **Continu** : système passe-bas ;

Types d'amplificateurs

Les amplificateurs sont classés en fonction de :

- l'utilisation : amplificateur de tension, de courant, de puissance ;
- la courbe de réponse : passe-bas, passe-haut, passe-bande, réjecteur de bande.

Classifications

Suivant l'utilisation :

- **Préamplificateur** : amplificateur de tension ou de courant, travaille en régime linéaire ;
- **Amplificateur de puissance** : travaille en régime de grands signaux.

Suivant la courbe de réponse :

- **Continu** : système passe-bas ;
- **Sélectif** : système bande très étroite ;

Types d'amplificateurs

Les amplificateurs sont classés en fonction de :

- l'utilisation : amplificateur de tension, de courant, de puissance ;
- la courbe de réponse : passe-bas, passe-haut, passe-bande, réjecteur de bande.

Classifications

Suivant l'utilisation :

- **Préamplificateur** : amplificateur de tension ou de courant, travaille en régime linéaire ;
- **Amplificateur de puissance** : travaille en régime de grands signaux.

Suivant la courbe de réponse :

- **Continu** : système passe-bas ;
- **Sélectif** : système bande très étroite ;
- **Large bande** : cas des amplificateurs audiofréquences et vidéofréquences.

Types d'amplificateurs

Les amplificateurs sont classés en fonction de :

- l'utilisation : amplificateur de tension, de courant, de puissance ;
- la courbe de réponse : passe-bas, passe-haut, passe-bande, réjecteur de bande.

Classifications

Suivant l'utilisation :

- **Préamplificateur** : amplificateur de tension ou de courant, travaille en régime linéaire ;
- **Amplificateur de puissance** : travaille en régime de grands signaux.

Suivant la courbe de réponse :

- **Continu** : système passe-bas ;
- **Sélectif** : système bande très étroite ;
- **Large bande** : cas des amplificateurs audiofréquences et vidéofréquences.

Domaines de fréquences

- **V.L.F** : très basses fréquences jusqu'à 30 kHz ;

Types d'amplificateurs

Les amplificateurs sont classés en fonction de :

- l'utilisation : amplificateur de tension, de courant, de puissance ;
- la courbe de réponse : passe-bas, passe-haut, passe-bande, réjecteur de bande.

Classifications

Suivant l'utilisation :

- **Préamplificateur** : amplificateur de tension ou de courant, travaille en régime linéaire ;
- **Amplificateur de puissance** : travaille en régime de grands signaux.

Suivant la courbe de réponse :

- **Continu** : système passe-bas ;
- **Sélectif** : système bande très étroite ;
- **Large bande** : cas des amplificateurs audiofréquences et vidéofréquences.

Domaines de fréquences

- **V.L.F** : très basses fréquences jusqu'à 30 kHz ;
- **LF** : basses fréquences jusqu'à 300 kHz ;

Types d'amplificateurs

Les amplificateurs sont classés en fonction de :

- l'utilisation : amplificateur de tension, de courant, de puissance ;
- la courbe de réponse : passe-bas, passe-haut, passe-bande, réjecteur de bande.

Classifications

Suivant l'utilisation :

- **Préamplificateur** : amplificateur de tension ou de courant, travaille en régime linéaire ;
- **Amplificateur de puissance** : travaille en régime de grands signaux.

Suivant la courbe de réponse :

- **Continu** : système passe-bas ;
- **Sélectif** : système bande très étroite ;
- **Large bande** : cas des amplificateurs audiofréquences et vidéofréquences.

Domaines de fréquences

- **V.L.F** : très basses fréquences jusqu'à 30 kHz ;
- **LF** : basses fréquences jusqu'à 300 kHz ;
- **M.F** : moyennes fréquences jusqu'à 3 MHz ;

Types d'amplificateurs

Les amplificateurs sont classés en fonction de :

- l'utilisation : amplificateur de tension, de courant, de puissance ;
- la courbe de réponse : passe-bas, passe-haut, passe-bande, réjecteur de bande.

Classifications

Suivant l'utilisation :

- **Préamplificateur** : amplificateur de tension ou de courant, travaille en régime linéaire ;
- **Amplificateur de puissance** : travaille en régime de grands signaux.

Suivant la courbe de réponse :

- **Continu** : système passe-bas ;
- **Sélectif** : système bande très étroite ;
- **Large bande** : cas des amplificateurs audiofréquences et vidéofréquences.

Domaines de fréquences

- **V.L.F** : très basses fréquences jusqu'à 30 kHz ;
- **LF** : basses fréquences jusqu'à 300 kHz ;
- **M.F** : moyennes fréquences jusqu'à 3 MHz ;
- **H.F** : hautes fréquences jusqu'à 30 MHz ;

Types d'amplificateurs

Les amplificateurs sont classés en fonction de :

- l'utilisation : amplificateur de tension, de courant, de puissance ;
- la courbe de réponse : passe-bas, passe-haut, passe-bande, réjecteur de bande.

Classifications

Suivant l'utilisation :

- **Préamplificateur** : amplificateur de tension ou de courant, travaille en régime linéaire ;
- **Amplificateur de puissance** : travaille en régime de grands signaux.

Suivant la courbe de réponse :

- **Continu** : système passe-bas ;
- **Sélectif** : système bande très étroite ;
- **Large bande** : cas des amplificateurs audiofréquences et vidéofréquences.

Domaines de fréquences

- **V.L.F** : très basses fréquences jusqu'à 30 kHz ;
- **LF** : basses fréquences jusqu'à 300 kHz ;
- **M.F** : moyennes fréquences jusqu'à 3 MHz ;
- **H.F** : hautes fréquences jusqu'à 30 MHz ;
- **V.H.F** : très hautes fréquences jusqu'à 300 MHz ;

Types d'amplificateurs

Les amplificateurs sont classés en fonction de :

- l'utilisation : amplificateur de tension, de courant, de puissance ;
- la courbe de réponse : passe-bas, passe-haut, passe-bande, réjecteur de bande.

Classifications

Suivant l'utilisation :

- **Préamplificateur** : amplificateur de tension ou de courant, travaille en régime linéaire ;
- **Amplificateur de puissance** : travaille en régime de grands signaux.

Suivant la courbe de réponse :

- **Continu** : système passe-bas ;
- **Sélectif** : système bande très étroite ;
- **Large bande** : cas des amplificateurs audiofréquences et vidéofréquences.

Domaines de fréquences

- **V.L.F** : très basses fréquences jusqu'à 30 kHz ;
- **LF** : basses fréquences jusqu'à 300 kHz ;
- **M.F** : moyennes fréquences jusqu'à 3 MHz ;
- **H.F** : hautes fréquences jusqu'à 30 MHz ;
- **V.H.F** : très hautes fréquences jusqu'à 300 MHz ;
- **U.H.F** : ultra hautes fréquences jusqu'à 3 GHz ;

Types d'amplificateurs

Les amplificateurs sont classés en fonction de :

- l'utilisation : amplificateur de tension, de courant, de puissance ;
- la courbe de réponse : passe-bas, passe-haut, passe-bande, réjecteur de bande.

Classifications

Suivant l'utilisation :

- **Préamplificateur** : amplificateur de tension ou de courant, travaille en régime linéaire ;
- **Amplificateur de puissance** : travaille en régime de grands signaux.

Suivant la courbe de réponse :

- **Continu** : système passe-bas ;
- **Sélectif** : système bande très étroite ;
- **Large bande** : cas des amplificateurs audiofréquences et vidéofréquences.

Domaines de fréquences

- **V.L.F** : très basses fréquences jusqu'à 30 kHz ;
- **LF** : basses fréquences jusqu'à 300 kHz ;
- **M.F** : moyennes fréquences jusqu'à 3 MHz ;
- **H.F** : hautes fréquences jusqu'à 30 MHz ;
- **V.H.F** : très hautes fréquences jusqu'à 300 MHz ;
- **U.H.F** : ultra hautes fréquences jusqu'à 3 GHz ;
- **Hyperfréquences** : au-delà de 3 GHz ;