Fomesoutra.com
Docs à portée de main

CH IV : FILTRES ANALOGIQUES

1. Définition

Un filtre est un circuit présentant la propriété de privilégier ou d'éliminer certaines fréquences du spectre d'un signal.
Lorsque le signal est représenté sous forme analogique, le filtre est dit analogique.
Les filtres trouvent leurs applications entre autres dans la transmission des signaux de commande, les télécommunications...

2. Caractéristiques d'un filtre

On distingue deux caractéristiques essentielles : la fonction de transfert et la bande passante à -3 dB.

2-1 Fonction de transfert

La fonction de transfert ou transmittance complexe est l'amplification complexe en tension du filtre.
L'étude d'un filtre se faisant en régime sinusoïdal, si les grandeurs d'entrée et de sortie sont des tensions alors, la fonction de transfert est l'amplification complexe en tension du quadripôle considéré.

$$T(p) = T(jw) = \underline{T} = \frac{\underline{U_S}}{\underline{U_e}}$$

Remarque :

- La forme générale de la fonction de transfert est :

$$T(p) = \frac{N(p)}{D(p)} = \frac{A_m p^m + A_{m-1} p^{m-1} + \ldots + A_1 p + A_0}{B_n p^n + B_{n-1} p^{n-1} + \ldots + B_1 p + B_0} \quad \text{avec } n > m$$

  où n le degré de D(p) est l'ordre du filtre.
- Le comportement fréquentiel d'un filtre est déterminé par les variations de sa fonction de transfert suivant la pulsation (ou la fréquence). Ces dernières sont généralement décrites par le **diagramme de BODE**.

2-2 Bande passante à -3 dB

On appelle bande passante à -3 dB d'un filtre, l'intervalle de fréquences pour lequel l'atténuation du gain maximal n'excède pas 3 dB.
Les fréquences pour lesquelles le gain maximal est atténué de 3 dB sont appelées fréquence de coupure à -3 dB.

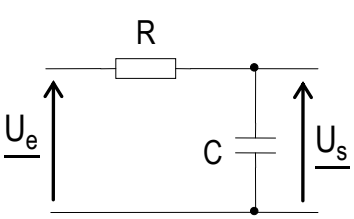
3. Types de filtres

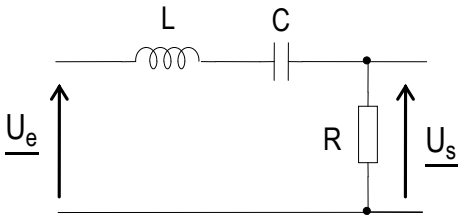
On distingue essentiellement deux types de filtres : les passifs et les actifs.

3-1 Filtres passifs

Les filtres passifs sont uniquement constitués de dipôles passifs linéaires (R, L, C).

Exemples :

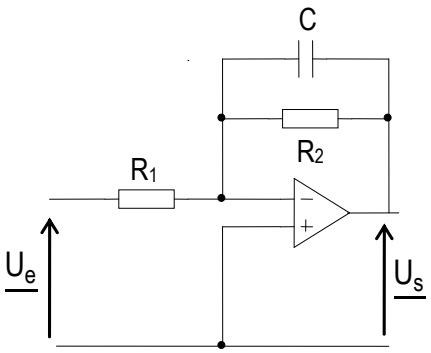


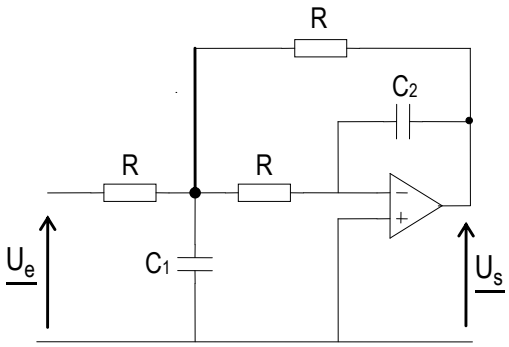


3-2 Filtres actifs

Ils sont constitués des dipôles passifs linéaires et font appel à des étages amplificateurs en particulier l'amplificateur opérationnel.

Exemples :





4. Nature d'un filtre

On catégorise les filtres en fonction du type de modification qu'ils imposent sur leurs entrées. Ils sont généralement classés en filtres passe-bas, passe-haut, passe-bande et coupe bande.

4-1 Filtres passe-bas

4-1-1 Définition

Un filtre passe-bas est un filtre transparent pour les signaux de basses fréquences et opaque pour ceux de hautes fréquences.

Fomesoutra.com
Docs à portée de main

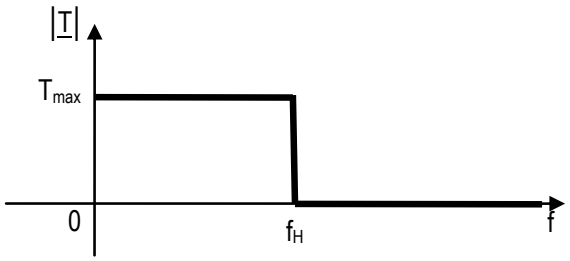


Fig.1 Courbe idéalisée de gain d'un filtre passe-bas

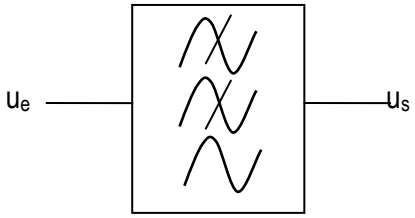


Fig.2 Symbole d'un filtre passe-bas

Sa bande passante est [0 ; f_H], f_H étant la fréquence de coupure à -3 dB.

Sa transmittance peut s'exprimer sous les formes canoniques suivantes :

- pour l'ordre 1 :

$$\underline{T} = \frac{T_0}{1 + j\frac{w}{w_0}} = \frac{T_0}{1 + j\frac{f}{f_0}}$$

- pour l'ordre 2 :

$$\underline{T} = \frac{T_0}{1 + j\frac{w}{Q_0 w_0} + \left(\frac{jw}{w_0}\right)^2} = \frac{T_0}{1 + j\frac{f}{Q_0 f_0} + \left(\frac{jf}{f_0}\right)^2}$$

où T_0 (nombre réel) est l'amplification aux basses fréquences,
w_0 et f_0, respectivement pulsation et fréquence caractéristique du filtre,
et Q_0, le facteur de qualité.

4-1-2 Exemples

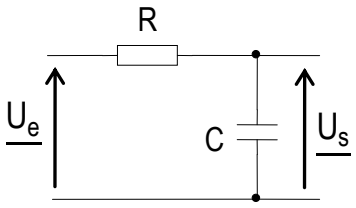


Fig.3 Filtre passe-bas passif

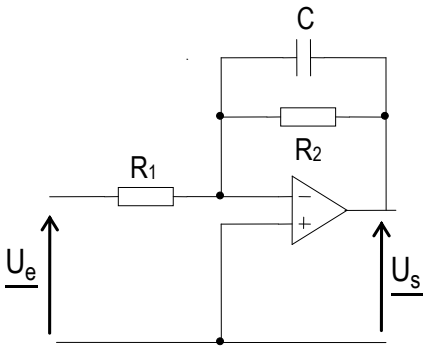


Fig.4 Filtre passe-bas actif

4-2 Filtres passe-haut

4-2-1 Définition

Un filtre passe-haut est un filtre transparent pour les signaux de hautes fréquences et opaque pour ceux de basses fréquences.

Fomesoutra.com
Docs à portée de main

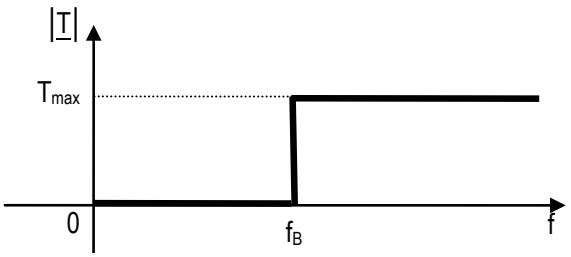


Fig.5 Courbe idéalisée de gain d'un filtre passe-haut

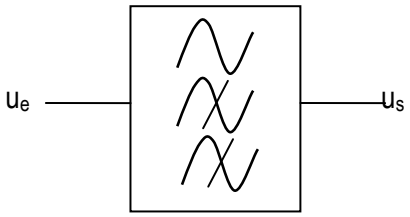


Fig.6 Symbole d'un filtre passe-haut

Sa bande passante est [f_B ; +∞], f_B étant la fréquence de coupure à -3 dB.

Sa transmittance peut s'exprimer sous les formes canoniques suivantes :

- pour l'ordre 1 :

$$\underline{T} = T_0 \frac{j\frac{w}{w_0}}{1 + j\frac{w}{w_0}} = \frac{T_0}{1 - j\frac{w_0}{w}} = T_0 \frac{j\frac{f}{f_0}}{1 + j\frac{f}{f_0}} = \frac{T_0}{1 - j\frac{f_0}{f}}$$

- pour l'ordre 2 :

$$\underline{T} = T_0 \frac{(j\frac{w}{w_0})^2}{1 + j\frac{w}{Q_0 w_0} + (\frac{jw}{w_0})^2} = T_0 \frac{(j\frac{f}{f_0})^2}{1 + j\frac{f}{Q_0 f_0} + (\frac{jf}{f_0})^2}$$

où T_0 (nombre réel) est l'amplification aux hautes fréquences,
w_0 et f_0, respectivement pulsation et fréquence caractéristique du filtre,
et Q_0, le facteur de qualité.

4-2-2 Exemples

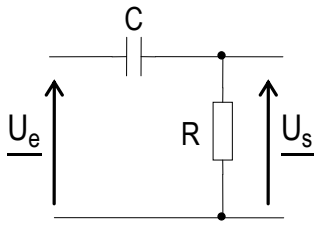


Fig.7 Filtre passe-haut passif

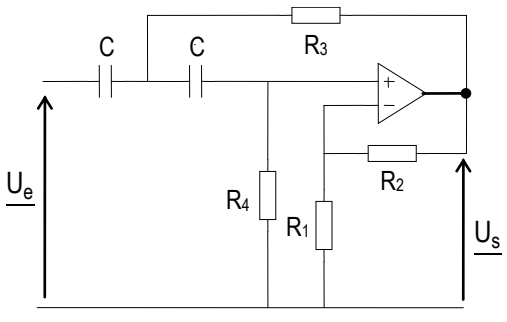


Fig.8 Filtre passe-haut actif

Fomesoutra.com
Docs à portée de main

4-3 Filtres passe-bande

4-3-1 Définition

Un filtre passe-bande est un filtre à la fois opaque pour les signaux de basses et de hautes fréquences.

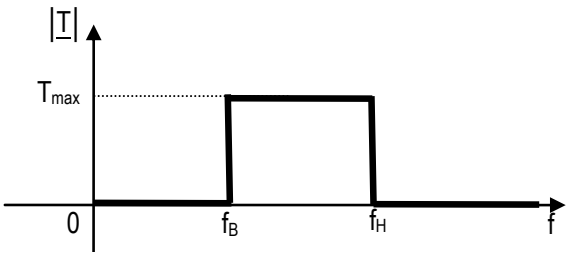


Fig.9 Courbe idéalisée de gain d'un filtre passe-bande

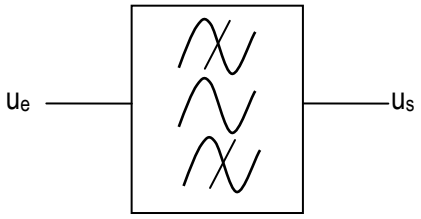


Fig.10 Symbole d'un filtre passe-bande

Sa bande passante est $[f_B ; f_H]$, f_B et f_H étant respectivement les fréquences de coupure basse et haute à -3 dB.

Sa transmittance peut s'exprimer sous les formes canoniques suivantes :

$$\underline{T} = \frac{T_0}{1 + jQ_0\left(\frac{w}{w_0} - \frac{w_0}{w}\right)} = \frac{T_0}{1 + jQ_0\left(\frac{f}{f_0} - \frac{f_0}{f}\right)}$$

$$\underline{T} = T_0 \frac{j\frac{w}{Q_0 w_0}}{1 + j\frac{w}{Q_0 w_0} + \left(\frac{jw}{w_0}\right)^2} = T_0 \frac{j\frac{f}{Q_0 f_0}}{1 + j\frac{f}{Q_0 f_0} + \left(\frac{jf}{f_0}\right)^2}$$

où T_0 (nombre réel) est l'amplification dans la bande passante,
w_0 et f_0, respectivement pulsation et fréquence caractéristique du filtre,
et Q_0, le facteur de qualité.
Les fréquences de coupure à -3 dB sont :

$$f_H = \frac{f_0}{2Q_0}\left(1 + \sqrt{1 + 4Q_0^2}\right) \qquad \text{et} \qquad f_B = \frac{f_0}{2Q_0}\left(-1 + \sqrt{1 + 4Q_0^2}\right)$$

La bande passante est $[f_B ; f_H]$ et sa largeur $\Delta f = f_H - f_B = \frac{f_0}{Q_0}$.

Remarque :
Lorsque le facteur de qualité Q_0 est très grand, le filtre passe-bande devient sélectif et la fréquence caractéristique f_0 est dite d'accord.

Fomesoutra.com
Docs à portée de main

4-3-2 Exemples

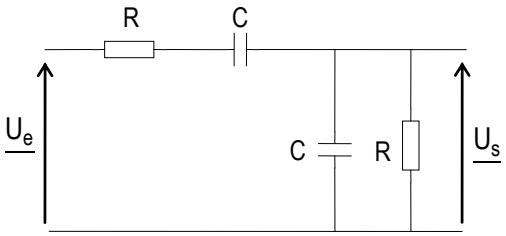


Fig.11 Filtre passe-bande passif : Pont de WIEN

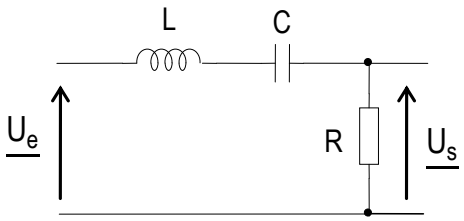


Fig.12 Filtre passe-bande passif

4-4 Filtres coupe-bande

Un filtre coupe-bande assure la transmission des signaux de basses et de hautes fréquences avec le gain maximum pendant qu'une bande de fréquences intermédiaires est atténuée.

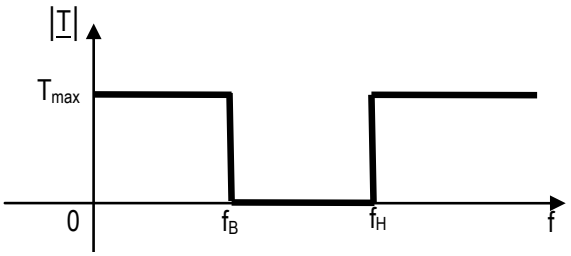


Fig.13 Courbe idéalisée de gain d'un filtre coupe-bande

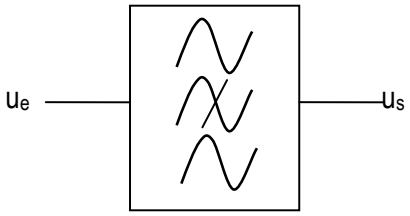


Fig.14 Symbole d'un filtre coupe-bande

Sa transmittance peut s'exprimer sous les formes canoniques suivantes :

$$\underline{T} = T_0 \frac{1 + \left(j\frac{w}{w_0}\right)^2}{1 + j\frac{w}{Q_0 w_0} + \left(\frac{jw}{w_0}\right)^2} = T_0 \frac{1 + \left(j\frac{f}{f_0}\right)^2}{1 + j\frac{f}{Q_0 f_0} + \left(\frac{jf}{f_0}\right)^2}$$

où T_0 (nombre réel) est l'amplification dans la bande passante,
w_0 et f_0, respectivement pulsation et fréquence caractéristique du filtre,
et Q_0, le facteur de qualité.

Fomesoutra.com
Docs à portée de main

TRAVAUX DIRIGES

PARTIE 1

On considère le filtre à la **figure 1** où l'amplificateur opérationnel (AOP) est supposé parfait.

1. Quel est le régime de fonctionnement de l'AOP? Justifiez.
2. De quel type de filtre s'agit-il? Justifiez.
3. Exprimez la fonction de transfert $\underline{T} = \frac{\underline{U_s}}{\underline{U_e}}$.
4. Mettez cette fonction de transfert sous la forme $\underline{T} = \frac{A_0}{1+jQ_0(\frac{f}{f_0}-\frac{f_0}{f})}$.
5. Déduisez en les expressions de A_0, f_0 et Q_0.
6. On veut obtenir une fréquence f_0=2kHz. Calculez L, A_0 et Q_0 sachant que R_1=R_2=100kΩ et C=47 nF.
7. Exprimez le module de $\underline{T}$ et déterminez en les limites aux basses et hautes fréquences.
8. Quelle est la nature du filtre?

PARTIE 2

On retire la self du filtre et on change les valeurs des résistances. On donne la courbe de variation de gain (**Fig.2**) du filtre obtenu.

1. Analysez le comportement physique du filtre obtenu et donnez sa nature.
2. Déterminez le gain maximal G_{max}.
3. Déterminez la fréquence de coupure à -3 dB.
4. Calculez les résistances R_1 et R_2.
5. Déterminez le gain des fréquences 300Hz, 30kHz, 70kHz.

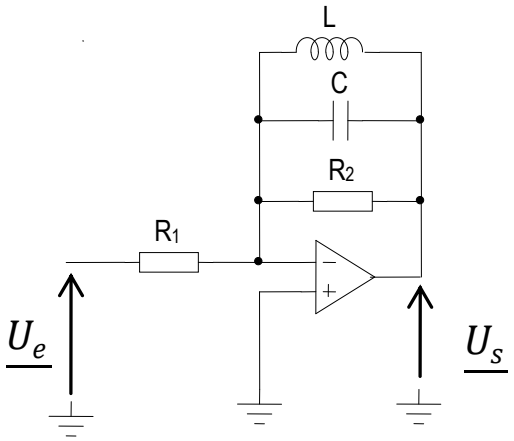


Fig1. Schéma du filtre

NB : Les deux parties sont indépendantes

Fomesoutra.com
Docs à portée de main

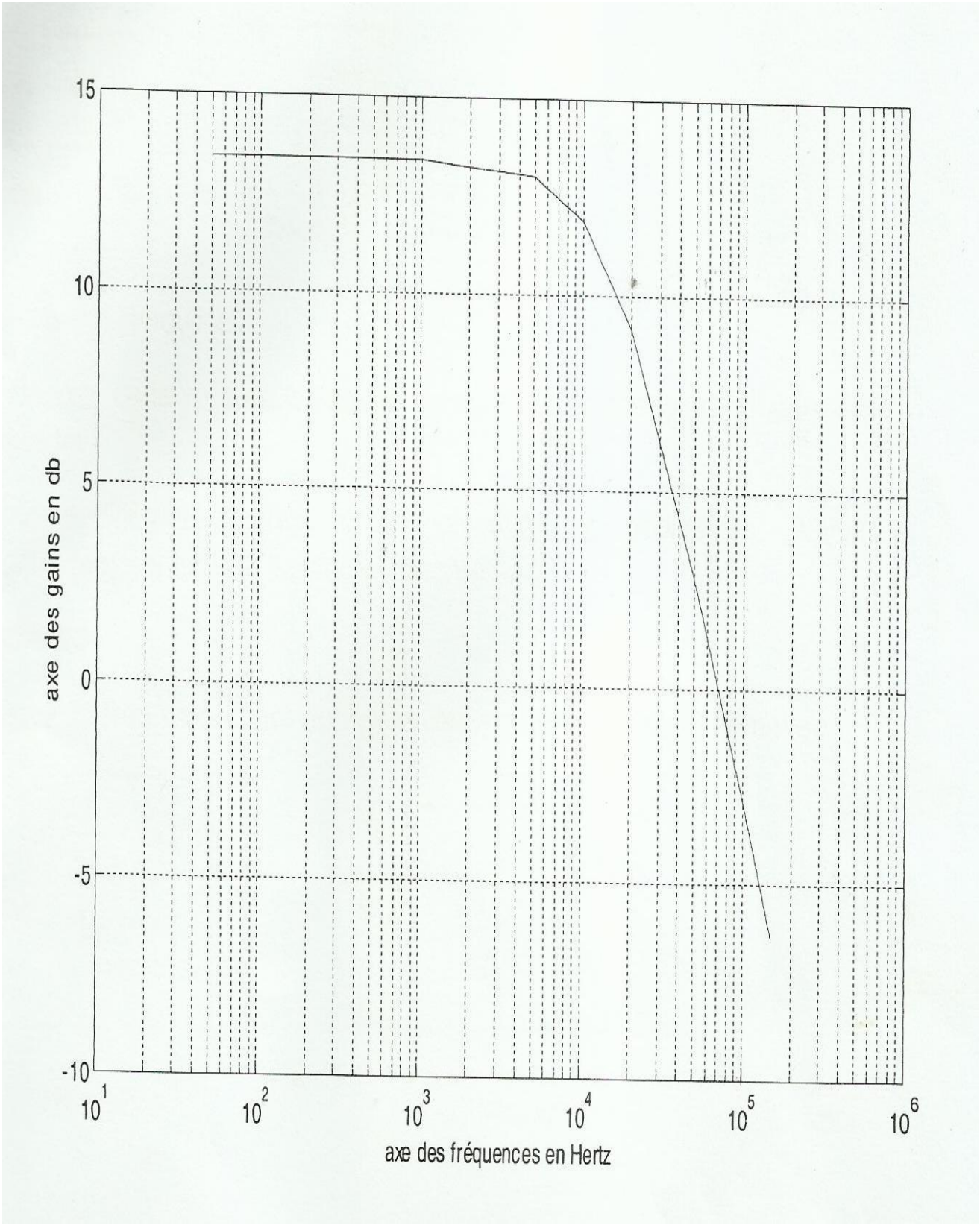


Fig.2 Courbe de variation de gain