LES FILTRES ELECTRIQUES

7

Dans une enceinte acoustique, les filtres électriques permettent d'appliquer sur chaque haut-parleur, de l'enceinte, la plage de fréquences qui lui correspond.

En acoustique, en télécommunication et en électronique d'une manière générale, les filtres électriques font partie des fonctions très fréquemment employées. Pour un signal complexe, on utilise des filtres pour extraire une partie de l'information et pour affaiblir ou éliminer une plage de fréquences indésirable liée à ce signal.
Qu'est-ce qu'un filtre électrique et qu'est ce qui lui confère toutes ses propriétés ?

LES FILTRES ÉLECTRIQUES

Dans les techniques de transmission d'information telles que la téléphonie, la télégraphie, la télévision, la radio, le filtrage constitue une opération fondamentale, c'est une forme de traitement du signal. Elle consiste à extraire une partie de l'information liée à ce signal. Sans filtres, il ne serait pratiquement pas possible de transmettre l'information. Un poste de radio, par exemple, sans l'utilisation de filtres, ne parviendrait pas à capter une station désirée. C'est avec des filtres électriques qu'on peut sélectionner la bande de fréquences relative à cette station.

1 FILTRAGE

1.1- MANIPULATION

Avec un résistor de résistance R = 620 Ω et un condensateur de capacité C = 1 µF, on réalise le quadripôle RC de la figure 1, dont les tensions d'entrée et de sortie sont respectivement $u_E(t)$ et $u_S(t)$.

Un générateur basse fréquence délivrant une tension sinusoïdale, d'amplitude U_{Em} et de fréquence N réglable, est branché à l'entrée du quadripôle RC.

L'entrée E et la sortie S du quadripôle sont reliées, respectivement, aux voies Y_1 et Y_2 d'un oscilloscope bicourbe.

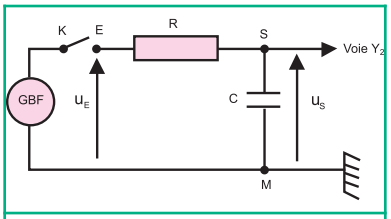


Fig.1 : Circuit RC excité par une tension sinusoïdale.

Expérience

◆ **Etape 1**

On règle l'amplitude U_{Em} de la tension d'entrée à 5 V, la fréquence N du GBF à 50 Hz et on ferme l'interrupteur K.

Sur l'écran d'un oscilloscope on obtient les chronogrammes 1 et 2 de la figure 2a, représentant, respectivement, les tensions instantanées $u_E(t)$ et $u_S(t)$.

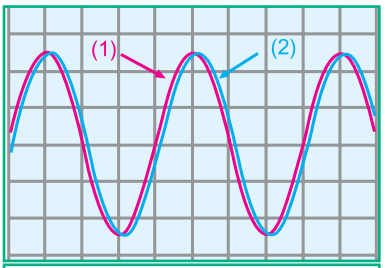


Fig.2a : $u_E(t)$ et $u_S(t)$ pour N_1 = 50 Hz

◆ **Etape 2**

On maintient le circuit fermé et on augmente progressivement la fréquence N de la tension d'entrée du quadripôle, tout en gardant la valeur de l'amplitude U_{Em} constante. Pour différentes valeurs de N, on obtient les oscillogrammes des figures : 2b, 2c, 2d et 2f.

Les sensibilités verticales des deux voies Y_1 et Y_2 de l'oscilloscope sont les mêmes.

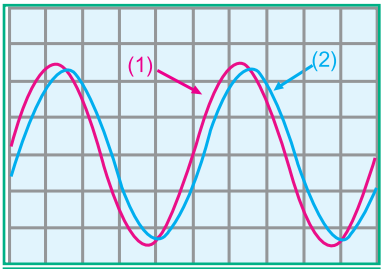


Fig.2b : $u_E(t)$ et $u_S(t)$ pour N_2 = 100 Hz

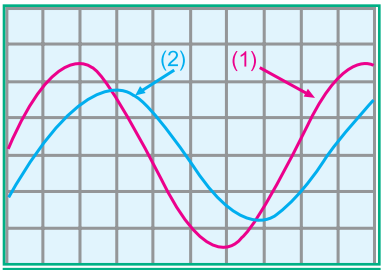


Fig.2c : $u_E(t)$ et $u_S(t)$ pour N_3 = 257Hz

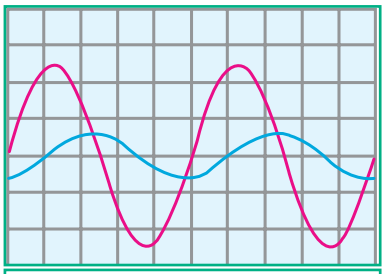


Fig.2d : $u_E(t)$ et $u_S(t)$ pour N_4 = 1 kHz

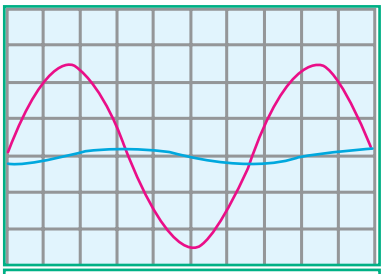


Fig.2f : $u_E(t)$ et $u_S(t)$ pour N_5 = 3 kHz

Questions

1°) Justifier, en se basant sur les figures 2a, 2b et2c, que l'oscillogramme (1) correspond à la tension d'entrée $u_E(t)$.

2°) Comparer les valeurs des amplitudes U_{Sm} de la tension de sortie et U_{Em} de la tension d'entrée pour :
- les faibles fréquences,
- les fréquences élevées (N ≥ 1 kHz).

3°) Préciser l'effet de la fréquence N, de la tension d'entrée, sur l'amplitude U_{Sm} de la tension de sortie.

4°) La fréquence N, a-t-elle un effet sur le déphasage $\Delta\varphi$ de $u_E(t)$ par rapport à $u_S(t)$?

1.2-INTERPRÉTATION

A l'entrée du quadripôle RC, on applique une tension sinusoïdale $u_E(t) = U_{Em} \sin(2\pi Nt)$, de fréquence N réglable. Une tension sinusoïdale $u_S(t) = U_{Sm}\sin(2\pi Nt + \varphi_s)$, de même fréquence N, est obtenue à la sortie. Pour les faibles fréquences, la valeur de l'amplitude U_{Sm} est comparable à celle de U_{Em} comme le montre les figures : 2a, 2b et 2c.

Pour les fréquences élevées, la valeur de U_{Sm} devient très atténuée d'une part et d'autre part on note une variation appréciable du déphasage $\Delta\varphi$ entre les tensions $u_E(t)$ et $u_S(t)$, comme le montre la figure 2d.

En conclusion, l'amplitude et la phase initiale de la tension de sortie $u_S(t)$ du quadripôle RC dépendent de la fréquence N de la tension (ou signal) d'entrée $u_E(t)$. Pour une plage de fréquences déterminée, la tension d'entrée $u_E(t)$, à travers le quadripôle RC, subit une modification qui peut consister en une atténuation. Cette opération est appelé filtrage. Le quadripôle RC, dans ce cas, est un filtre électrique. En effet, ce quadripôle transmet, sans atténuation, les tensions (signaux) de faibles fréquences et il atténue les tensions (signaux) de fréquences élevées.

Définitions

- ◆ Selon la valeur de sa fréquence, un signal sinusoïdal appliqué à l'entrée d'un quadripôle donné peut subir une atténuation, ou une amplification de son amplitude à la sortie. Une telle opération est appelée filtrage et le quadripôle utilisé est un filtre électrique.
- ◆ On appelle filtre électrique, tout quadripôle qui ne transmet que les signaux électriques dont les fréquences sont comprises dans un domaine de fréquences déterminé.

1.3-Schéma d'un filtre et grandeurs caractéristiques

Un filtre électrique est un exemple de quadripôle. Il est caractérisé par ses tensions d'entrée $u_E(t)$ et de sortie $u_S(t)$, ses courants d'entrée $i_E(t)$ et de sortie $i_S(t)$.
Le schéma d'un filtre électrique, en convention récepteur, est donné par la figure 3.

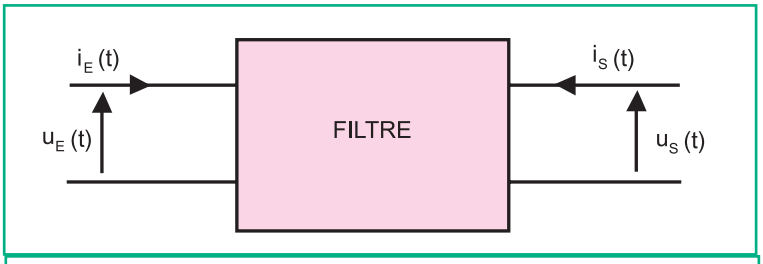


Fig.3 : Schéma d'un filtre en convention récepteur

1.4-Régime périodique et quadripôle linéaire

On reprend le montage de la figure 1 et pour différentes valeurs de N, on compare la forme et la fréquence des signaux d'entrée et de sortie du filtre RC.
D'après les oscillogrammes des figures: 2b, 2c, 2d et 2f, la forme et la fréquence du signal d'entrée, à travers le filtre RC, ne subissent aucune modification.
En effet, à partir d'une tension d'entrée sinusoïdale nous obtenons une tension de sortie sinusoïdale et de même fréquence. Dans ce cas, le filtre est qualifié de linéaire.

Définition

Un filtre est dit linéaire si, à partir d'un signal d'entrée sinusoïdal de fréquence N, il donne un signal de sortie sinusoïdal de même fréquence.

Remarque

Le filtre RC est dit passif car il est constitué uniquement de dipôles passifs linéaires.

2 FONCTION DE TRANSFERT ET GAIN D'UN FILTRE

2.1- Fonction de transfert

On règle l'amplitude U_{Em} de la tension d'entrée du filtre RC (Fig1) à la valeur 5V. On fait varier la fréquence N et pour différentes valeurs de N, on note la valeur de la tension maximale U_{Sm} correspondante. Les résultats de mesures sont consignés dans le tableau suivant :

N (Hz)	10	50	100	257	300	500	10^3	10^4
U_{Em} (V)	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
U_{Sm} (V)	5,00	4,90	4,65	3,53	3,25	1,88	1,24	0,12

Remarque :

Au lieu de mesurer les tensions maximales U_{Em} et U_{Sm} à l'aide d'un oscilloscope bicourbe, il est commode aussi de recourir à la mesure des tensions efficaces U_E et U_S avec des multimètres numériques ou voltmètres.

Questions

1°) En s'appuyant sur le tableau dressé précédemment, préciser comment varie U_{Sm} en fonction de la fréquence N en maintenant la valeur de U_{Em} constante.

2°) Reproduire le même tableau, y ajouter une ligne pour le calcul du rapport : $\frac{U_{Sm}}{U_{Em}}$ et commenter le résultat obtenu.

3°) Préciser l'effet de la valeur de la fréquence N du signal d'entrée sur le rapport : $\frac{U_{Sm}}{U_{Em}}$.

Interprétation

Le rapport $\frac{U_{Sm}}{U_{Em}}$ est pratiquement constant pour les faibles fréquences, sa valeur est pratiquement égale à un. Par contre, pour les fréquences élevées, on note une diminution importante de ce rapport, sa valeur tend vers zéro. Ainsi, le rapport $\frac{U_{Sm}}{U_{Em}}$ varie avec la fréquence N du signal d'entrée. Ce rapport de tensions maximales renseigne sur la nature du filtre considéré et son comportement pour les faibles, moyennes et hautes fréquences (fréquences élevées).

Définition

Pour un filtre électrique donné, en régime sinusoïdal, le rapport $\frac{U_{Sm}}{U_{Em}}$, noté **T** est appelé fonction de transfert ou transmittance du filtre: $T = \frac{U_{Sm}}{U_{Em}}$.

Conclusion

En régime sinusoïdal, un filtre électrique est caractérisé par sa fonction de transfert ou transmittance $T = \frac{U_{Sm}}{U_{Em}}$.

Cette fonction de transfert **T** dépend de la fréquence du signal d'entrée.

Remarque :

La transmittance T d'un filtre peut prendre des valeurs supérieures ou égales à l'unité.

De même, elle peut prendre des valeurs inférieures à l'unité et qui peuvent tendre vers zéro.

- Pour T = 1, la transmission du signal d'entrée, à travers le filtre, se fait sans atténuation.
- Pour T < 1, il y a atténuation du signal d'entrée, à travers le filtre.
- Pour T > 1, la transmission du signal d'entrée, à travers le filtre, se fait avec amplification.

2.2- Gain d'un filtre

La fonction de transfert T d'un filtre électrique peut varier dans de très grandes proportions. Elle peut prendre des valeurs variant entre 0,001 et 100 et même plus. Pour pouvoir lire, sur un graphique, différentes valeurs de T, on cherche à étirer les petites valeurs et à compresser les grandes valeurs. Cette opération est réalisée par l'introduction d'une grandeur appelée gain du filtre et notée **G**.

Définition

Le gain d'un filtre électrique, noté **G**, est donné par la relation : **G = 20 logT**, avec **T** la fonction de transfert du filtre.

Le gain **G** est une grandeur sans dimension qui s'exprime en décibel de symbole **dB**.

Questions

1°) Compléter le tableau ci-dessous :

T	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}	0,5	1	10	10^{2}
***G* (dB)**							

2°) Comparer les intervalles de variation de T et de G.

3°) Justifier que l'introduction du gain en décibel permet d'étirer les petites valeurs de T et de compresser les grandes valeurs.

Par introduction de la grandeur G, on peut étirer les petites valeurs de T. Par exemple, pour les valeurs de T appartenant à l'intervalle $[10^{-3}, 10^{-1}]$, correspond des valeurs de G comprises entre (-60) et (-20 dB). De même, à une transmittance T = 1, correspond un gain G = 0.

2.3- Courbe de réponse d'un filtre

On appelle courbe de réponse d'un filtre, la représentation graphique $\mathscr{C}_T$ (fig.4a) de la variation de la transmittance **T** en fonction de la fréquence N du signal d'entrée : **T = f(N)** ou la représentation graphique $\mathscr{C}_G$ (fig.4b) de la variation du gain G en fonction de N: **G = h(N)**. L'avantage de la courbe de réponse $\mathscr{C}_G$ par rapport à $\mathscr{C}_T$ est la compression des grandes valeurs de fréquences et l'étirement des petites valeurs.

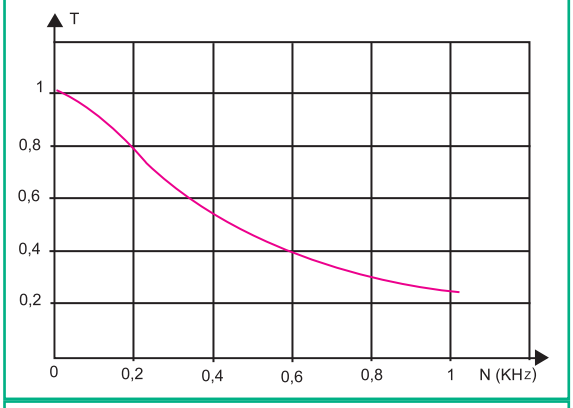


Fig.4a :Courbe de réponse T = f(N)

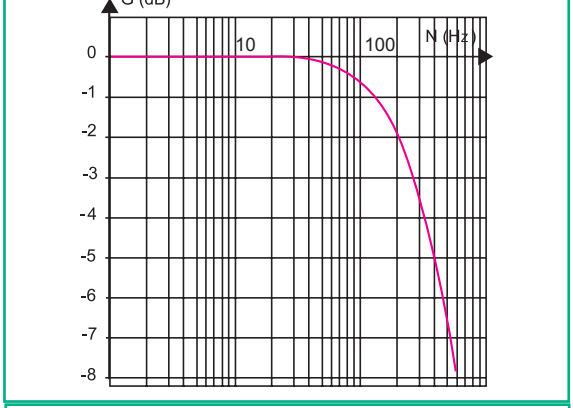


Fig.4b :Courbe de réponse d'un filtre G = h(N)

Remarques

- Dans l'étude des filtres, le domaine de variation de la fréquence N reste très large et variant, généralement, entre 0,1 Hz et 300 kHz. Par suite, il est plus commode d'attribuer à l'axe de fréquences une échelle logarithmique (Fig. 4c). Dans ce cas, le quadrillage dans lequel est tracée la courbe de réponse du filtre est dit semi-logarithmique comme le montre la figure 4b.

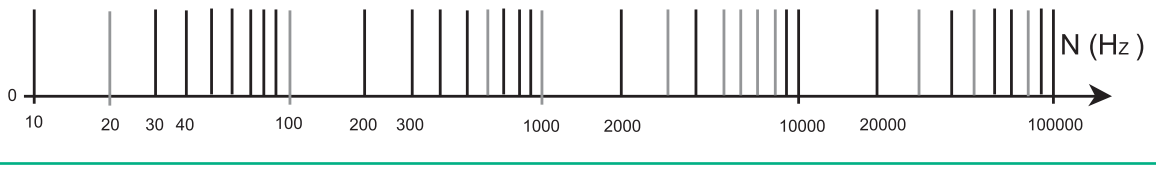


Fig.4c : L'axe des abscisses gradué en logarithme décimal de N.

- D'une manière générale les caractéristiques d'un filtre sont définies à partir des courbes de réponse en gain, **G = h(N)** et en déphasage $\Delta\varphi$ **= f(N)**. Cependant, dans notre étude on se limitera, principalement, à la courbe de réponse en gain pour décrire les propriétés d'un filtre.

3 BANDE PASSANTE ET FRÉQUENCE DE COUPURE D'UN FILTRE

Un filtre électrique, d'une manière générale, est caractérisé par une plage de fréquences pour laquelle le signal d'entrée est transmis sans modification appréciable. Dans ce cas, le filtre est dit passant. Cependant, pour les fréquences où l'atténuation du signal d'entrée est importante, le filtre est dit non passant ou opaque.
D'ailleurs, les courbes de réponse en transmittance T(N) et en gain G(N), du filtre RC (Fig. 4a et 4b), permettent de confirmer que les signaux de faibles fréquences sont transmis sans atténuation appréciable. Cependant, l'atténuation des signaux est très importante pour les fréquences élevées. Il s'agit de la partie oblique et sensiblement rectiligne de la courbe de réponse où le filtre est non passant.

La convention généralement adoptée : un filtre électrique est passant pour toute valeur de $T \geq \frac{T_0}{\sqrt{2}}$ **, avec** T_0 **la valeur maximale de la transmittance T.**

3.1- BANDE PASSANTE

A partir des courbes de réponse T(N) et G(N) du filtre RC, données par les figures 4a et 4b, on obtient les valeurs maximales T_0 de T et G_0 de G. Par convention, le filtre RC est passant dans la plage de fréquences où la transmittance T est supérieure ou égale à $\frac{T_0}{\sqrt{2}}$:

$$T \geq \frac{T_0}{\sqrt{2}} .$$

D'autre part, la fréquence N_h de **N**, pour laquelle on a : $T = \frac{T_0}{\sqrt{2}}$, est appelée la fréquence de coupure « haute » du filtre.

L'intervalle de fréquence **[0, N_h]** est appelée la bande passante du filtre RC.

La condition sur le gain G, d'un filtre pour qu'il soit passant, est obtenue en exprimant G en fonction de G_0 pour $T \geq \frac{T_0}{\sqrt{2}}$. On obtient ainsi :

$$20 \log T \geq 20 \log \left(\frac{T_0}{\sqrt{2}}\right), \text{ par suite } G \geq 20 \log T_0 - 10 \log 2.$$

Par suite, le filtre est passant pour : $\mathbf{G \geq G_0 - 3dB}$, avec $G_0 = 20 \log T_0$.

En conclusion, un filtre est passant pour : $\mathbf{T \geq \frac{T_0}{\sqrt{2}}}$ ou bien $\mathbf{G \geq G_0 - 3\ dB}$.

3.2- Détermination graphique de la fréquence de coupure

Définition

On appelle bande passante à -3 dB d'un filtre, l'intervalle de fréquences **[N_b, N_h]** pour lequel le gain **G** est compris entre le gain maximale G_0 et G_0 **- 3 dB** :

$$\mathbf{G \geq G_0 - 3\ dB} \text{ ou bien } \mathbf{T \geq \frac{T_0}{\sqrt{2}}}.$$

Les fréquences N_b et N_h, pour lesquelles $\mathbf{G = G_0 - 3\ dB}$, sont respectivement les fréquences de coupure basse et haute du filtre.

Questions

1°) Par exploitation graphique des courbes de réponse T(N) et G(N) des figures 4a et 4b, déterminer :

a- les valeurs maximales T_0 de **T** et G_0 de **G**,

b- la fréquence N_h de **N** pour laquelle $\mathbf{T = \frac{T_0}{\sqrt{2}}}$ et en déduire le domaine de fréquences pour lequel le filtre est passant.

2°) Exprimer le gain **G** en fonction de G_0 pour : $T = \frac{T_0}{\sqrt{2}}$.

3°) Quelle est la valeur de **N** pour laquelle : $G = G_0 - 3$ dB ?

Par exploitation de la courbe de réponse en transmittance T(N) ou en gain G(N), on peut déterminer la (ou les) fréquence(s) de coupure du filtre et par suite délimiter sa bande passante.

– La valeur de la fréquence de coupure N_h d'un filtre est l'abscisse en fréquences correspondant à une transmittance $T = \frac{T_0}{\sqrt{2}}$, comme le montre la figure 5a.

– De même, pour la courbe de réponse en gain G(N), la fréquence de coupure N_h est l'abscisse en fréquences correspondant à un gain $\mathbf{G = G_0 - 3\ dB}$ (Fig.5b).

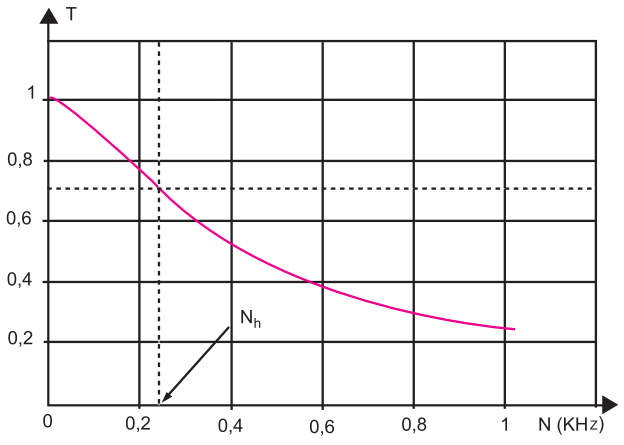


Fig.5a : Courbe de réponse d'un filtre T = f(N)

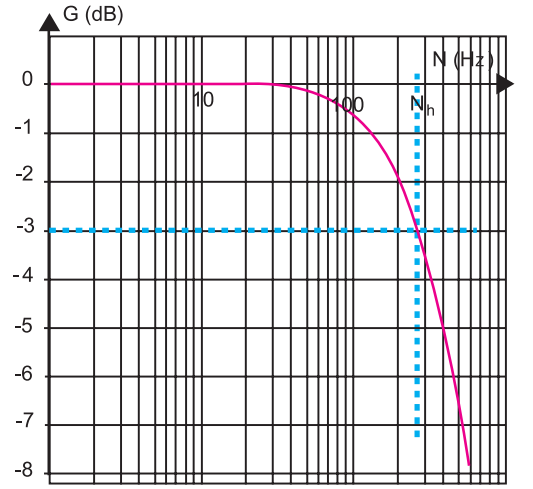
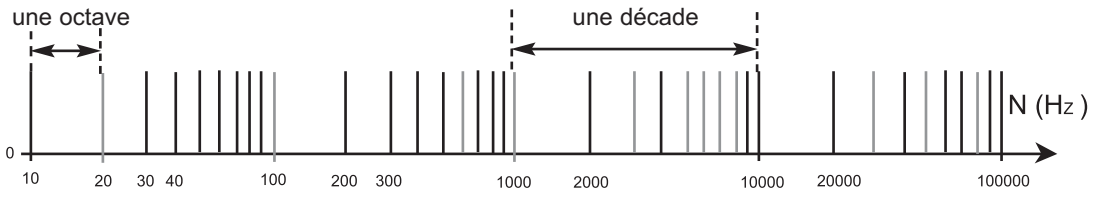


Fig.5b : Détermination de la fréquence de coupure N_h.

Remarque

Pour les hautes fréquences (fréquences élevées), la courbe de réponse en gain d'un filtre RC est confondue avec une asymptote oblique de pente : (-20 dB) par décade*. Cette asymptote coupe l'axe de fréquences en N = N_h , fréquence de coupure du filtre (Fig. 5b).



L'octave et la décade de fréquences.

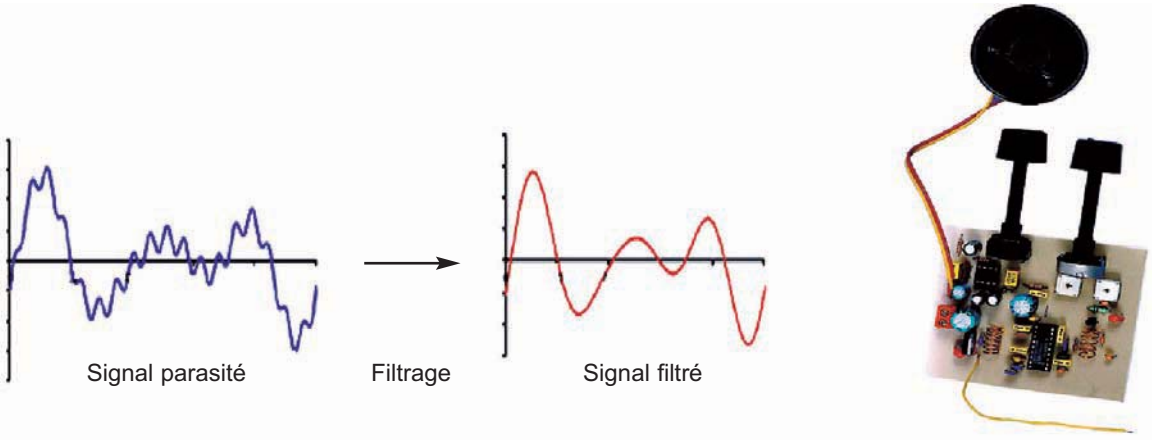
4 APPLICATIONS DES FILTRES

Dans les montages électriques, les filtres sont utilisés pour extraire ou supprimer la composante continue d'un signal, éliminer les fréquences indésirables ou sélectionner une bande de fréquences bien déterminée d'un signal.

Dans le cas d'une voiture, on utilise les filtres électriques pour éviter que les signaux «parasites» qui sont produits par l'allumage, soient transmis et amplifiés par la radio de bord.

Dans les appareils électriques, alimentés par le courant du secteur, de fréquence 50 Hz, on utilise les filtres pour supprimer les bruits indésirables causés par cette fréquence.

En médecine, un électrocardiogramme est un signal de faible fréquence et d'amplitude de quelques millivolts sur lequel se superpose des parasites (à 50 Hz). Pour un diagnostic correct, il faut amplifier les faibles fréquences et éliminer le bruit du secteur (50 Hz) en utilisant des filtres électriques. En télécommunication, une antenne reçoit une multitude d'ondes radio de différentes fréquences. La réception d'une station désirée, nécessite l'utilisation de filtres électriques. Ces filtres sélectionnent la bande de fréquences relative à cette station. Dans une enceinte acoustique, les filtres sont nécessaires pour guider les signaux amplifiés vers les haut-parleurs adéquats.



Radio FM

L'essentiel

- Le filtre électrique est un quadripôle qui ne transmet que les signaux de fréquence(s) comprise(s) dans un certain domaine.
- Le filtrage est une opération de tri de signaux électriques selon leurs fréquences.
- Un filtre RC transmet les signaux de faible fréquence sans atténuation appréciable.
- Un filtre est dit linéaire si, d'un signal d'entrée sinusoïdal de fréquence N, donne un signal de sortie sinusoïdal de même fréquence.
- La fonction de transfert ou la transmittance T d'un filtre est le rapport :

$$T = \frac{U_{Sm}}{U_{Em}} \text{ ou bien } T = \frac{U_S}{U_E} .$$

- La transmittance maximale T_0 d'un filtre passif est égale à un : $T_0 = 1$.
- Le gain G d'un filtre, mesuré en décibel (dB), est : $G = 20 \log T$.
- La fréquence de coupure d'un filtre est celle pour laquelle on a :

$$T = \frac{T_0}{\sqrt{2}} \text{ ou bien } G = G_0 - 3 \text{ dB}.$$

- La bande passante à -3 dB, d'un filtre est l'intervalle de fréquences pour lequel on a un gain G supérieur ou égal à G_0 - 3 dB :

$$G \geq G_0 - 3 \text{ dB}.$$

Avec G_0 la valeur maximale du gain G du filtre.

- Un filtre est passant pour tout signal électrique dont la fréquence appartient à sa bande passante.

Exercices

Exercice résolu

ÉNONCÉ

Un générateur basse-fréquence délivrant une tension sinusoïdale de fréquence N réglable, alimente un filtre RC. On désigne par $u_E(t)$ la tension d'entrée du filtre et par $u_S(t)$ sa tension de sortie, avec: $u_E(t) = U_{Em}\sin(2\pi Nt)$ et $u_S(t) = U_{Sm}\sin(2\pi Nt + \varphi)$.

1°) Donner le schéma d'un filtre RC en précisant l'entrée et la sortie d'un tel filtre.

2°) A l'aide d'un oscilloscope bicourbe, on visualise simultanément les tensions $u_E(t)$ et $u_S(t)$ du filtre. Pour une fréquence N_1 de N et avec les mêmes sensibilités, on obtient l'oscillogramme de la figure 1.

- **a-** Identifier les tensions d'entrée et de sortie du filtre.
- **b-** Justifier qu'il s'agit d'un filtre linéaire passif.

3°) Pour une tension d'entrée U_{Em} donnée, on fait varier la tension N du générateur. Pour chaque valeur de N, on mesure la tension maximale U_{Sm}. Les résultats de mesures permettent de tracer la courbe de réponse en gain du filtre RC, donnée par la figure 2.

- **a-** Donner la condition pour qu'un filtre électrique soit passant.
- **b-** Déterminer graphiquement la fréquence de coupure N_h et la bande passante du filtre RC, en précisant la méthode utilisée.
- **c-** On applique à l'entrée du filtre deux signaux (S_1) et (S_2) de fréquences respectives N_1= 700 Hz et N_2= 7 kHz. Lequel des deux signaux est transmis par le filtre ? Justifier la réponse.

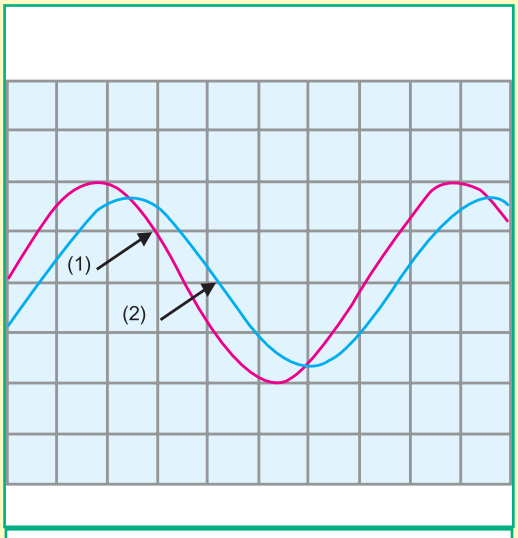


Fig.1

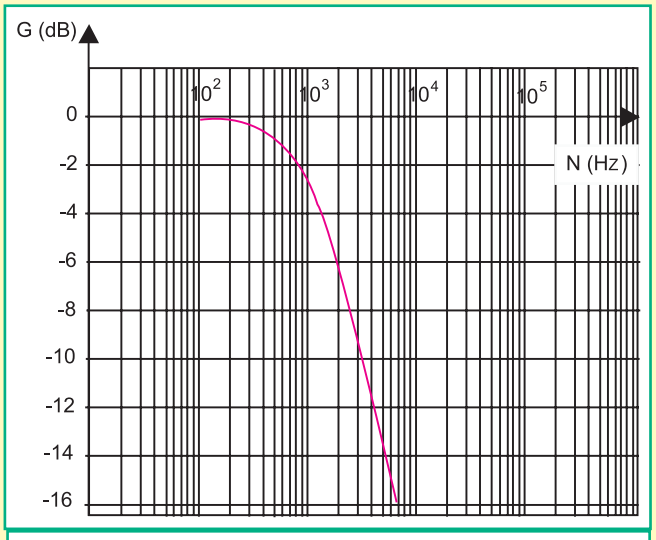


Fig.2

SOLUTION

1°) Un filtre RC est un quadripôle constitué par l'association en série d'un conducteur ohmique de résistance R et d'un condensateur de capacité C. L'entrée du filtre est aux bornes de l'association RC tandis que la sortie et aux bornes du condensateur (fig.3).

2°) a- A travers un filtre passif, la tension d'entrée subit une atténuation plus ou moins appréciable. Par conséquent, la tension dont l'amplitude est la plus grande correspond à $u_E(t)$. Ainsi, l'oscillogramme 2 correspond au signal de sortie $u_S(t)$, tandis que le l'oscillogramme 1 correspond au signal d'entrée $u_E(t)$.

Autre méthode : on peut se baser sur le signe du déphasage $\Delta\varphi = \varphi_S - \varphi_E$.

b- A travers un filtre RC, le signal d'entrée ne subit aucune modification au niveau de la forme et de la fréquence.

En effet, à partir d'une tension sinusoïdale de fréquence N, on obtient, à la sortie du filtre, une tension sinusoïdale de même fréquence d'où le filtre est dit linéaire. D'autre part, le filtre RC est dit passif car il est constitué d'éléments passifs R et C.

3°) a- Un filtre est passant dans le domaine de fréquences ou le gain G est supérieur ou égale à G_0 - 3 dB.

b- La fréquence de coupure N_h d'un filtre est l'abscisse correspondant à un gain $G = G_0$ - 3 dB. D'après la courbe de réponse, à l'ordonnée G_0 - 3 dB correspond la fréquence Nh = 1 kHz.

Autre méthode

On trace l'asymptote (Δ) confondue avec la partie oblique et rectiligne de la courbe G(N) du filtre (Fig. 4). Cette asymptote coupe l'axe de fréquence en $N = N_h$.

La bande passante du filtre est : [0 - 1 kHz].

c- Tout signal dont la fréquence N appartient à la bande passante du filtre sera transmis pratiquement sans atténuation appréciable. Dans notre cas, le filtre est transparent pour le signal (S_1) et opaque pour le signal (S_2).

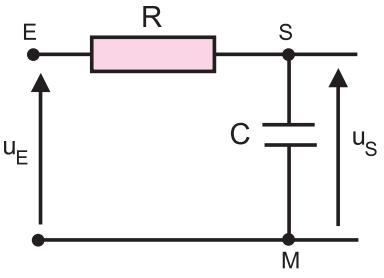


Fig.3 : Schéma d'un filtre RC

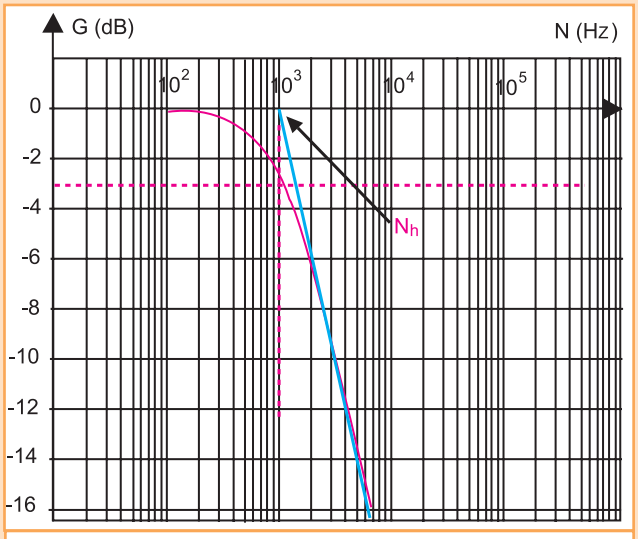


Fig.4

Exercices à résoudre

Tests rapides des acquis

1 Items "vrai ou faux"

Evaluer les propositions suivantes par vrai ou faux.

1°) Un filtre électrique est un exemple de quadripôle.

2°) Le filtrage est une opération de traitement d'un signal, indépendamment de sa fréquence.

3°) Un filtre électrique supprime toutes les fréquences qui sont supérieures à sa fréquence de coupure haute.

4°) La bande passante d'un filtre RC est l'intervalle de fréquences $[0,N_h]$.

5°) La fonction de transfert d'un filtre est l'inverse de sa transmittance T.

6°) Un filtre RC transmet, sans atténuation, les signaux de fréquences élevées.

7°) La fréquence de coupure d'un filtre RC correspond à une transmittance : $T = \frac{T_0}{2}$.

8°) La valeur maximale de la fonction de transfert d'un filtre passif est égale à 1.

9°) La bande passante d'un filtre correspond à un gain $G \leq G0 - 3dB$.

10°) Un filtre passif assure le filtrage et l'amplification du signal d'entrée.

2 Questions à Choix Multiples

Préciser pour chacune des questions suivantes, la(ou les) proposition(s) juste(s).

1°) Un filtre électrique RC est un quadripôle qui transmet un signal électrique :

a- en modifiant uniquement sa forme,

b- en amplifiant son amplitude,

c- sans atténuation, si sa fréquence est faible.

2°) La bande passante d'un filtre est l'intervalle de fréquences pour lequel :

a- le gain G est maximal,

b- le gain G est supérieur ou égal à G_0 - 3 dB,

c- le gain G est inférieur ou égal à G_0 - 3 dB.

3°) La valeur de la transmittance T d'un filtre RC pour les fréquences élevées vaut :

a- T = 0,

b- $T = \frac{T_0}{\sqrt{2}}$,

c- T = 1.

4°) Pour les fréquences élevées, la courbe de réponse en gain d'un filtre RC est confondue avec une asymptote oblique de pente :

a- p = - 20 dB / décade,

b- p = - 6 dB / décade,

c- p = 20 dB / décade.

5°) Le gain G d'un filtre pour une transmittance $T = \frac{T_0}{2}$ est :

a- G = 0,

b- $G = G_0$ - 3 dB,

c- $G = G_0$ - 6 dB.

Exercices d'application

3 On alimente un filtre électrique avec une tension sinusoïdale de fréquence N réglable et d'amplitude constante U_{Em}= 4,00V. Pour différentes valeurs de la fréquence N, on note la valeur maximale U_{Sm} de la tension de sortie. On donne dans le tableau ci-dessous, la variation de U_{Sm} pour quelques valeurs de N :

N(Hz)	10	100	200	500	10^3	2.10^3	5.10^3
U_{Sm}(V)	3,96	3,92	3,56	2,84	1,80	0,80	0,40
T							

1°) a-Rappeler l'expression de la transmittance T d'un filtre.

b- Donner l'expression du gain G d'un filtre.

2°) a- Reproduire puis compléter le tableau ci-dessus.

b- Représenter, sur une feuille de papier semi-logarithmique, la courbe de réponse en gain G = f(N) du filtre considéré.

3°) Déterminer graphiquement :

- la (ou les) fréquence(s) de coupure à -3 dB du filtre,

- la pente de l'asymptote, confondue à la courbe G(N), pour les fréquences élevées.

4 On donne la courbe de réponse en gain G = h(N) d'un filtre électrique (Fig.1).

Par exploitation graphique de la courbe de réponse :

1°) Justifier qu'il s'agit bien d'un filtre passif.

2°) Préciser, l'effet du filtrage sur l'amplitude du signal d'entrée pour les faibles et les hautes fréquences.

3°) Déterminer la fréquence de coupure N_h du filtre et en déduire la largeur de sa bande passante.

4°) Donner la valeur de la pente de l'asymptote confondue à la courbe de réponse pour les fréquences élevées ?

5°) Pour la fréquence N_1 = 1kHz, calculer la valeur de la transmittance T et en déduire la valeur maximale U_{Sm} de la tension de sortie. On donne $U_{Em} = 4\sqrt{2}$ V.

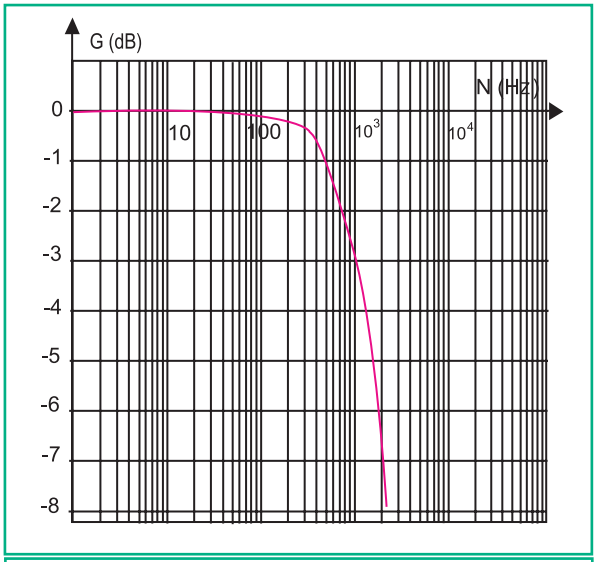


Fig.1 : Courbes de réponse en gain.

Exercice de synthèse

5 On réalise le montage schématisé par la figure 1 et constitué par un filtre RC, un interrupteur K_1 et un conducteur ohmique de résistance R_1. Un générateur basse fréquence, délivrant une tension sinusoïdale d'amplitude Um U_m = 4 V et de fréquence réglable, alimente l'entrée du filtre RC. Les tensions d'entrée et de sortie du filtre sont respectivement $u_E(t)$ et $u_S(t)$.

A- Dans une première étape, on fait l'étude du filtre sans charge, c'est-à-dire K ouvert.

La réponse en gain G = h(N) du filtre est donnée par la courbe1 de la figure 2.

1°) Donner la valeur de l'amplitude U_{Sm}, de la tension de sortie du filtre, pour les basses fréquences.

2°) Déterminer la valeur de la fréquence de coupure N_h de ce filtre et sa bande passante.

3°) Quelle est la valeur de la pente p de l'asymptote de la courbe de réponse, pour les hautes fréquences.

4°) Préciser, la valeur de l'amplitude U_{Sm} pour une fréquence N du GBF égale à N_h.

B- Dans une seconde étape, on fait l'étude du filtre avec une charge, c'est-à-dire K fermé (Fig.1). La réponse en gain du filtre est donnée par la courbe 2 de la figure 2.

1°) Déterminer la valeur de la transmittance maximale T_0' du filtre et sa nouvelle fréquence de coupure N'_h .

2°) Quelle est la valeur de la pente p' de l'asymptote de la courbe de réponse G(N) pour les fréquences élevées.

3°) Préciser, l'effet de la charge sur le fonctionnement d'un filtre passif.

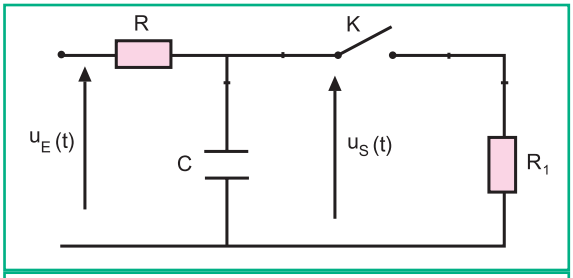


Fig.1: Filtre RC

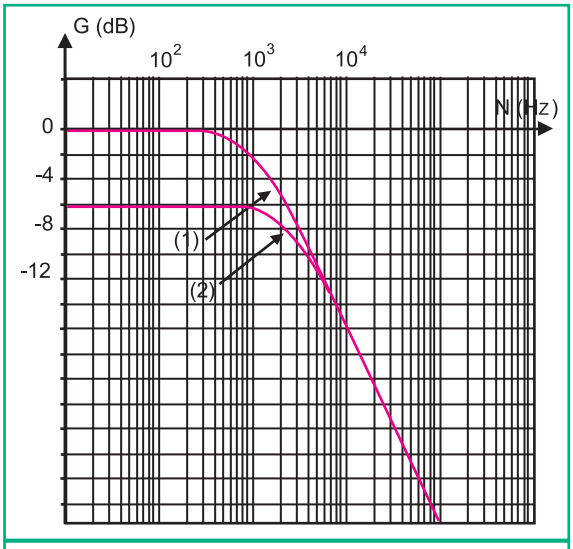


Fig.2: Courbes de réponse en gain

Document scientifique

Bloc multiprises

Les surtensions du secteur, les parasites radioélectriques et les effets de la foudre sont des perturbations qui peuvent nuire au fonctionnement d'appareils électriques tels que: ordinateur, imprimante, modem, photocopieur, téléphone, répondeur, téléviseur, magnétoscope…

Pour assurer le bon fonctionnement de ces appareils et éviter les perturbations, on utilise les blocs multiprises ou filtres secteur (Fig. 1). Ce sont des excellents systèmes de filtrage contre les perturbations. Les filtres secteur sont conçus pour atténuer les signaux électriques de fréquences supérieures à 50 Hz (fréquence du secteur).

L'origine des perturbations enregistrées sur le courant du secteur 230 V / 50 Hz proviennent de l'utilisation d'appareils électriques tels que : les tubes fluorescents, les lampes, les moteurs électriques…

D'après: www.hellopro.fr

Questions

1°) Préciser les différentes perturbations qui peuvent nuire au fonctionnement d'appareils électriques.

2°) Préciser la plage de fréquences pour laquelle le filtre secteur est opaque.

3°) Le filtre secteur est un exemple de filtre passif. Justifier cette affirmation.

Fig.1: Bloc multiprises

En savoir plus

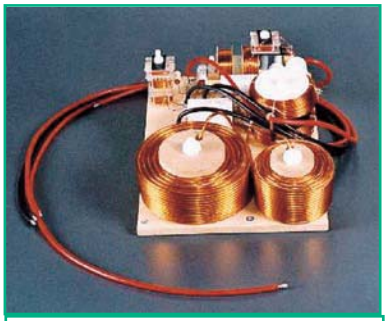
Les filtres répartiteurs des enceintes acoustiques

Dans une enceinte acoustique d'une chaine Hi-fi, les haut-parleurs sont spécialisés dans la reproduction du son, soit grave (la fréquence en dessous de 650 Hz), soit médium (la fréquence s'étend de 650 à 3000 Hz), soit aigu (la fréquence est de plus de 3000 Hz). Chaque haut-parleur est spécialisé dans la reproduction d'une bande fréquentielle particulière. Le signal fourni par amplification, à l'entrée de l'enceinte, ne sait pas "d'instinct" vers quel haut-parleur de l'enceinte doit-il s'acheminer ?

Haut-parleur de grave-médium

Afin de guider le signal contenant les fréquences graves, par exemple, vers l'haut-parleur de grave, il faut interposer entre ce dernier et la sortie de l'amplificateur un filtre d'aiguillage ou filtre répartiteur. Celui-ci forme, d'une manière plus ou moins efficace, un barrage pour les signaux dont la fréquence est supérieure à 650Hz.

De la même manière, les signaux dont les fréquences s'étendent de 650 à 3000 Hz, sont orientés vers le haut-parleur de médium. Enfin, ceux de plus de 3000 Hz sont dirigés vers le haut-parleur d'aigu. Ainsi, chacun des haut-parleurs d'une enceinte est prévu et construit pour une certaine plage de fréquences. Les filtres répartiteurs, dans une enceinte acoustique, permettent donc de sélectionner les composantes sinusoïdales du signal fourni par l'amplification et de les répartir en trois domaines de fréquences avant de les transmettre aux haut-parleurs adéquats.



Filtre répartiteur d'une enceinte acoustique

Objectifs

- ◆ Réaliser un filtre électrique (passe-bas, passe-haut et passe-bande).
- ◆ Etablir l'expression de la fonction de transfert T d'un filtre électrique.
- ◆ Calculer le gain d'un filtre électrique.
- ◆ Tracer la courbe de réponse T = f(N) ou G = h(N) d'un filtre électrique.
- ◆ Déterminer la (ou les) fréquence(s) de coupure et la bande passante d'un filtre.
- ◆ Distinguer un filtre électrique actif d'un filtre électrique passif.

Prérequis

SAVOIR	SAVOIR FAIRE
◆ Définir un quadripôle. ◆ Caractériser une grandeur sinusoïdale par sa période, son amplitude et sa phase initiale. ◆ Ecrire la relation entre la valeur maximale et la valeur efficace d'une tension sinusoïdale. ◆ Rappeler l'expression du facteur de surtension Q d'un circuit RLC série. ◆ Définir, en décibels, le gain d'un filtre. ◆ Définir la fréquence de coupure d'un filtre électrique. ◆ Définir la bande passante d'un filtre.	◆ Distinguer entre l'entrée et la sortie d'un filtre électrique. ◆ Visualiser simultanément deux tensions électriques à l'oscilloscope. ◆ Mesurer à l'aide d'un oscilloscope la valeur maximale et le déphasage de deux tensions sinusoïdales. ◆ Appliquer la loi des mailles. ◆ Appliquer la loi des nœuds. ◆ Utiliser les propriétés d'un amplificateur opérationnel idéal. ◆ Faire une construction de Fresnel.