

7. Filtres passifs

7.1 Introduction

Rappel sur les composants de base

$$X_C = f(f)$$

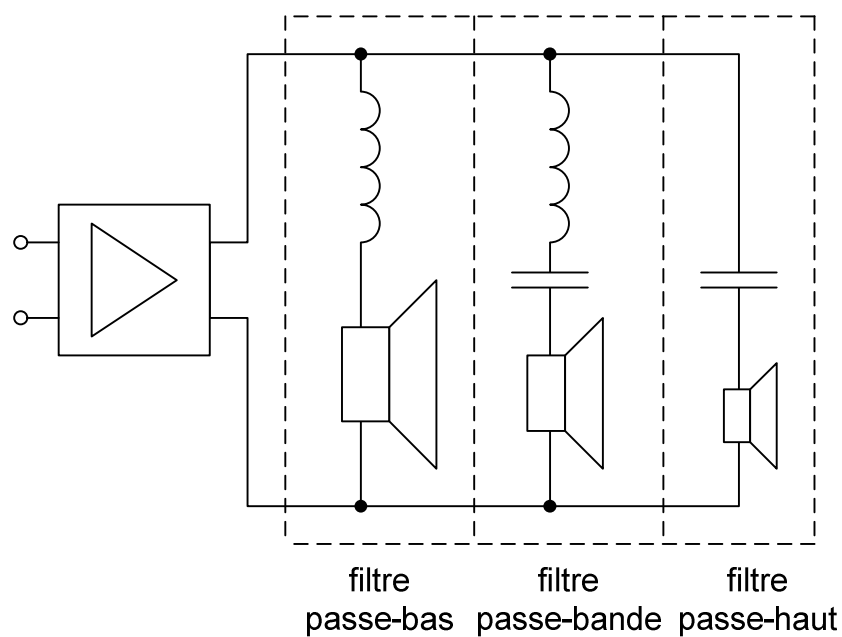
$$X_L = f(f)$$

$$R = f(f)$$

Exercice 1:

Avec vos connaissances sur les composants de base sur tension alternatives développez le circuit d'un filtre 3 voies pour une enceinte avec trois haut-parleurs.

Solution:

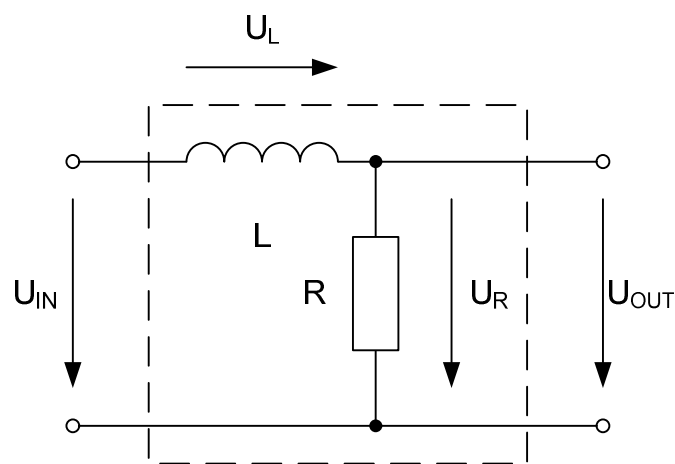


7.2 Filtre RL passe-bas

Dans l'exercice précédent la bobine en série avec l'haut-parleur forment un filtre passe-bas. Un filtre passe-bas est un circuit électronique qui laisse passer les tensions à basses fréquences et qui atténue les tensions à hautes fréquences.

On peut montrer qu'un haut-parleur se comporte surtout comme une résistance ohmique. La manière la plus simple de réaliser un filtre passe-bas est donc de brancher une bobine et une résistance ohmique en série. On appelle ce circuit "filtre RL passe-bas".

circuit d'un filtre RL passe-bas:



fonctionnement:

Le filtre RL passe-bas est en principe un diviseur de tension variable. La plus petite tension se trouve sur la plus petite résistance.

Si on augmente la fréquence il vaut:

$$f \nearrow \Rightarrow X_L \nearrow \Rightarrow U_L \nearrow \Rightarrow U_R \searrow \Rightarrow U_{OUT} \searrow$$

Pour les très hautes fréquences il vaut donc:

$$\underline{\underline{U_{OUT} \approx 0V}}$$

Si on réduit la fréquence il vaut:

$$f \searrow \Rightarrow X_L \searrow \Rightarrow U_L \searrow \Rightarrow U_R \nearrow \Rightarrow U_{OUT} \nearrow$$

Pour les très basses fréquences il vaut donc:

$$\underline{\underline{U_{OUT} \approx U_{IN}}}$$

Si on augmente la fréquence f la tension de sortie U_{OUT} va donc diminuer graduellement. A l'aide d'une courbe de réponse en fréquence le comportement du circuit peut être visualisé pour toutes les fréquences. (voir aussi essai 7)

7.3 Courbe de réponse en fréquence

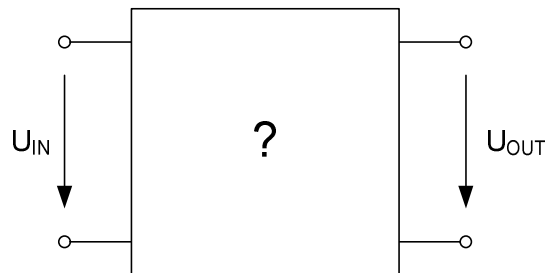
7.3.1 Définition

La courbe de réponse en fréquence d'un circuit est la courbe $G_U = f(f)$.

G_U est le gain en tension du circuit [sans unité]

f est la fréquence en Hertz [Hz]

7.3.2 Définition du gain en tension



Le gain, ou facteur d'amplification, d'un quadripôle électrique est définie comme suit:

$$G_U = \frac{U_{\text{EFF,OUT}}}{U_{\text{EFF,IN}}} \quad \text{ou} \quad G_U = \frac{\hat{u}_{\text{OUT}}}{\hat{u}_{\text{IN}}} \quad \text{ou} \quad G_U = \frac{u_{\text{PP,OUT}}}{u_{\text{PP,IN}}}$$

$U_{\text{EFF,OUT}}$, \hat{u}_{OUT} resp. $u_{\text{PP,OUT}}$ décrivent la tension à la sortie du circuit en volt [V]

$U_{\text{EFF,IN}}$, \hat{u}_{IN} resp. $u_{\text{PP,IN}}$ décrivent la tension à l'entrée du circuit en volt [V]

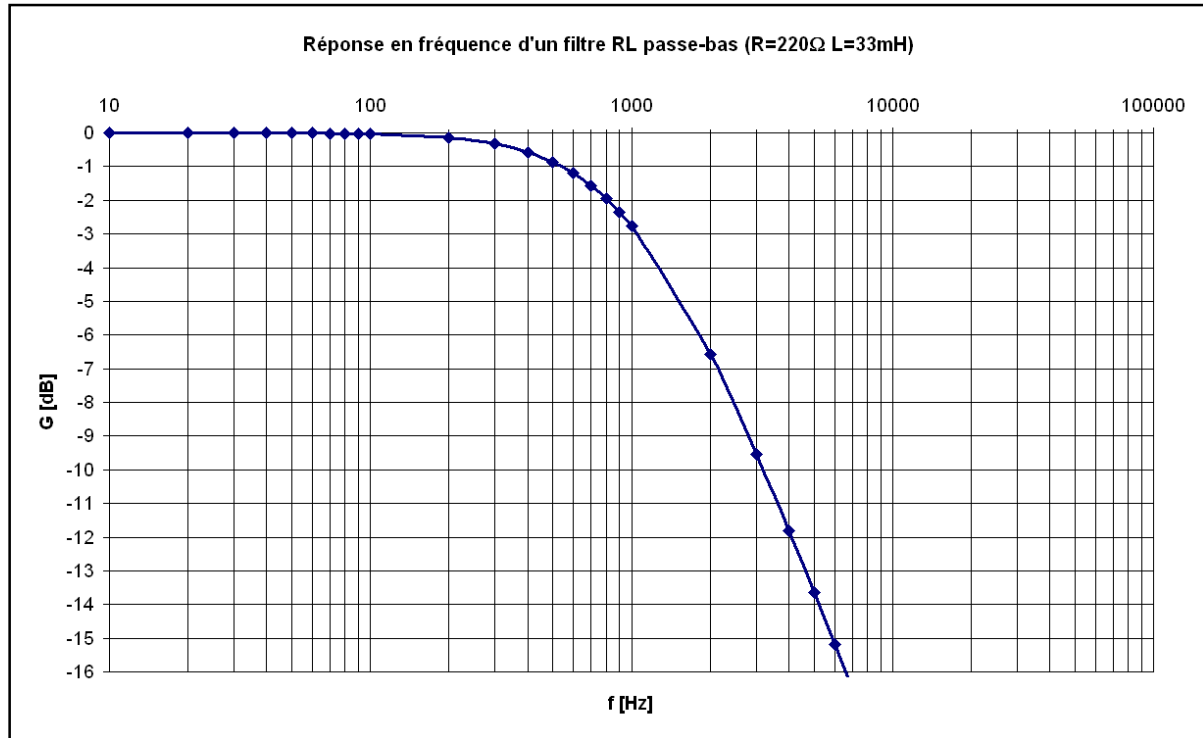
- Le gain exprime combien de fois la tension de sortie est plus grande que la tension d'entrée.
- Si $G_U > 1$, alors $U_{\text{OUT}} > U_{\text{IN}}$.
- Si $G_U < 1$, alors $U_{\text{OUT}} < U_{\text{IN}}$.
- Si $G_U = 1$, alors $U_{\text{OUT}} = U_{\text{IN}}$.

Exercice 2:

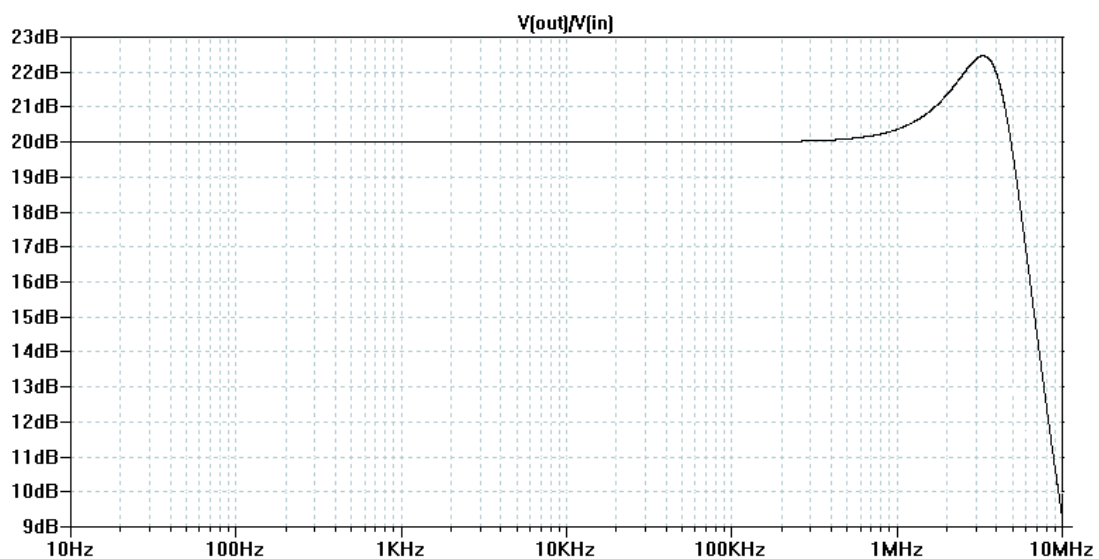
- Calculez le gain en tension d'un filtre passe-bas RL pour une fréquence de 0Hz et ∞ Hz.
- Dessinez avec les résultats du point a) la courbe de réponse en fréquence approximative d'un filtre passe-bas RL.

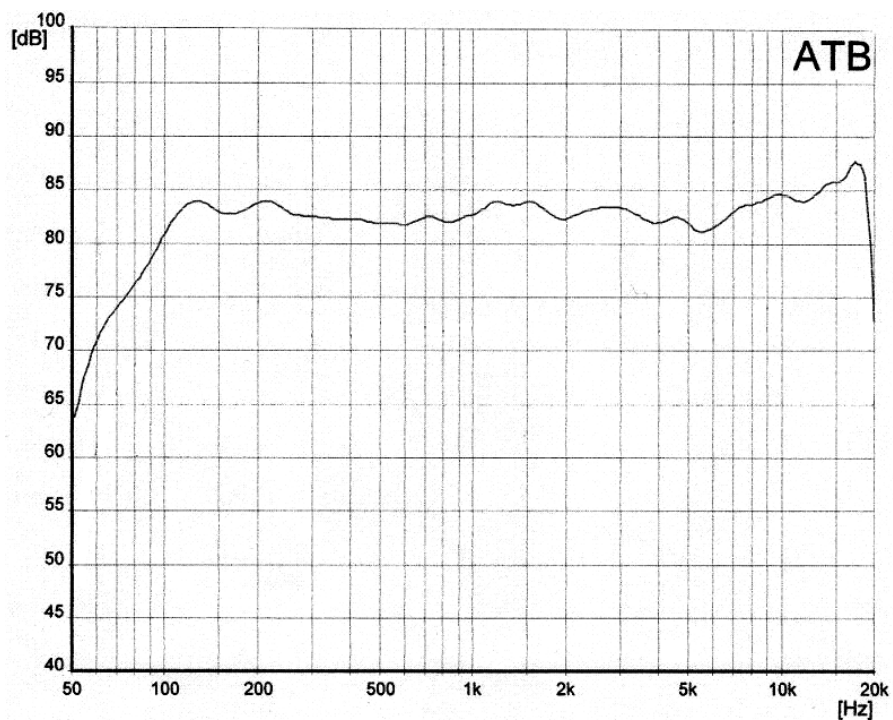
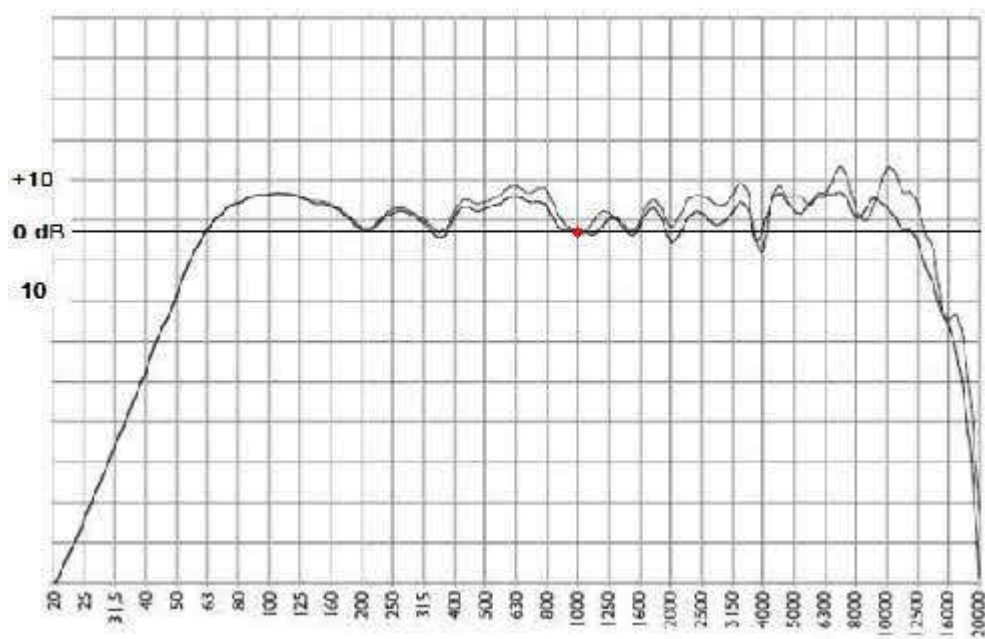
7.3.3 Exemples pratiques de courbe de réponse en fréquence

courbe de réponse en fréquence d'un filtre RL passe-bas:



courbe de réponse en fréquence d'un amplificateur:



courbe de réponse en fréquence d'une enceinte:**courbe de réponse en fréquence d'un microphone:****observations:**

En pratique le gain est souvent exprimé en "dB" et on utilise une échelle logarithmique pour l'axe de la fréquence.

7.3.4 Le gain en décibel

Le gain est souvent exprimé en décibel. Il vaut:

$$G_{dB} = 20 \cdot \log(G_U)$$

$$G_U = 10^{\left(\frac{G_{dB}}{20}\right)}$$

G_{dB} est le gain en décibel [dB]

G_U est le gain en tension [sans unité]

Exercice 3:

- Déterminez la formule pour calculer le gain en décibel si on connaît $u_{PP,OUT}$ et $u_{PP,IN}$.
- Calculez le gain en décibel d'un filtre passe-bas RL pour une fréquence de 0Hz et ∞ Hz.
- Tracez la courbe approximative $G_{dB}=f(f)$ d'un filtre passe-bas RL.

Exercice 4:

Complétez le tableau suivant:

G_U	G_{dB} [dB]
0,01	
0,1	
1	
10	
100	
1000	
10000	
100000	

conclusion:

Chaque fois qu'on augmente l'amplitude d'un signal de 20dB alors l'amplitude devient _____ fois plus grande.

Exercice 5:

a) Complétez le tableau suivant:

G_U	$G_{dB} [dB]$
	-12
	-6
	0
	6
	12
	18

conclusion:

Chaque fois qu'on augmente la l'amplitude d'un signal de 6dB alors l'amplitude devient _____ fois plus grande.

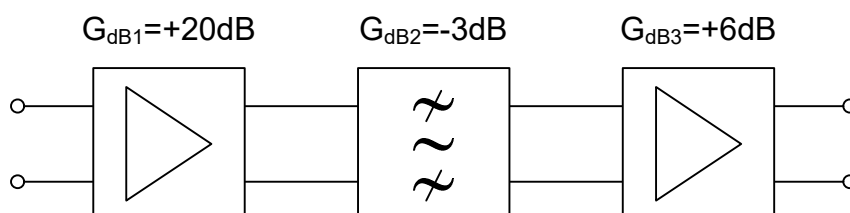
b) Déterminez sans calculatrice G_U si G_{dB} est 52dB.

Exercice 6:

Est-ce qu'une augmentation de votre argent de poche de "110dB" à "116dB" est une augmentation importante? Argumentez votre réponse.

7.3.5 Avantage de l'utilisation des décibels

L'utilisation des décibels devient particulièrement intéressante dès que plusieurs amplificateurs ou filtres sont branchés en série. Le gain décibel total du système se calcul dans ce cas par simple addition des gains en décibel partiel de chaque composant.

Exemple:

$$G_{dB,TOT} = \underline{\hspace{5cm}}$$

7.4 Fréquence de coupure d'un filtre

Toutes les courbes de réponse en fréquence vues dans l'essai 7 montrent qu'il n'existe pas de fréquence précise au-delà de laquelle le circuit va bloquer ou laisser passer complètement le signal d'entrée. Le passage entre de la zone de passage et la zone de blocage se fait graduellement.

Pour mieux pouvoir dimensionner les filtres on définit pourtant arbitrairement la fréquence de coupure comme suit.

Définition:

La **fréquence de coupure** f_c d'un circuit est la fréquence où la tension de sortie est devenue $\sqrt{2}$ -fois plus petite par rapport à la tension de sortie maximale, donc où:

$$\hat{u}_{OUT} = \frac{\hat{u}_{OUT,MAX}}{\sqrt{2}}$$

\hat{u}_{OUT} est la valeur de crête de la tension de sortie à la fréquence de coupure.

$\hat{u}_{OUT,MAX}$ est la valeur de crête de la tension de sortie maximale à n'importe quelle autre fréquence.

Exercice 7:

Soit un filtre RL passe-bas idéal, c.à.d. le gain en tension maximal est 1. $\hat{u}_{IN} = 5V$.

- Calculez le gain en décibel maximal $G_{dB,MAX}$.
- Indiquez $\hat{u}_{OUT,MAX}$.
- Calculez \hat{u}_{OUT} à la fréquence de coupure.
- Calculez le gain en décibel G_{dB} à la fréquence de coupure f_c .
- Quelle est la valeur de la différence entre $G_{dB,MAX}$ et G_{dB} ?

Exercice 8:

Soit un filtre RL passe-bas réel où le gain en tension maximal est 0,8. $\hat{u}_{IN} = 5V$.

- Calculez le gain en décibel maximal $G_{dB,MAX}$.
- Calculez $\hat{u}_{OUT,MAX}$.
- Calculez \hat{u}_{OUT} à la fréquence de coupure.
- Calculez le gain en décibel G_{dB} à la fréquence de coupure f_c .
- Quelle est la valeur de la différence entre $G_{dB,MAX}$ et G_{dB} ?

Exercice 9:

- a) En comparant les résultats de l'exercice 7 e) et 8 e), trouvez une autre définition de la fréquence de coupure.
- b) Déterminez les fréquences de coupure dans les courbes de réponse en fréquences à la page 4.

Exercice 10:

- a) On peut montrer que $X_L = R$ si on applique la fréquence de coupure f_c à un filtre RL. Déterminez à partir de cette information la formule pour calculer la fréquence de coupure d'un filtre RL si on connaît la valeur de la résistance R et l'inductance L de la bobine.
- b) On peut montrer que $X_C = R$ si on applique la fréquence de coupure f_c à un filtre RC. Déterminez à partir de cette information la formule pour calculer la fréquence de coupure d'un filtre RC si on connaît la valeur de la résistance R et la capacité C du condensateur.

Exercice 11:

- a) Comment est-ce que la fréquence de coupure varie si on augmente l'inductance d'un filtre RL.
- b) Dimensionnez un filtre RL passe-bas avec une fréquence de coupure de 120kHz.
- c) Comment est-ce que la fréquence de coupure varie si on augmente la valeur de la résistance ohmique d'un filtre RC.
- d) Calculez la capacité d'un filtre RC passe-haut avec une fréquence de coupure de 1MHz si on utilise une résistance de 1Ω . (solution: $C=0,159\mu F$)

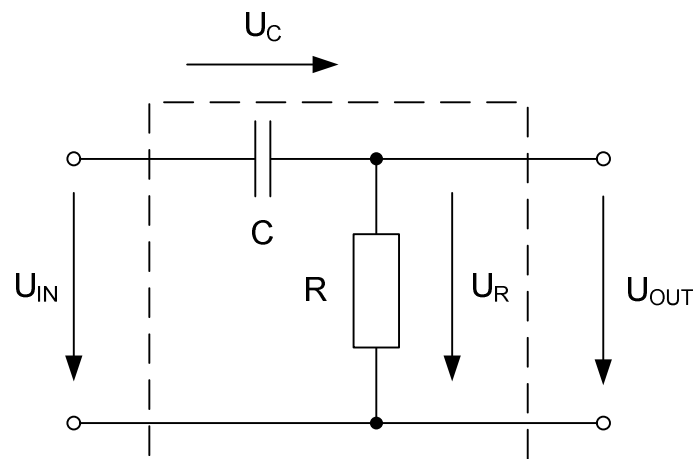
Exercice 12:

Ecrivez le chapitre 7.5 sur le filtre RC passe-haut en vous inspirant du chapitre 7.2.

7.5 Filtre RC passe-haut

Un filtre passe-haut est un circuit électronique qui laisse passer les hautes fréquences et qui atténue les basses fréquences. La manière la plus simple de réaliser un filtre passe-haut est d'utiliser un circuit RC.

circuit d'un filtre RC passe-haut:



fonctionnement:

Le filtre RC passe-haut est en principe un diviseur de tension variable. La plus petite tension se trouve sur la plus petite résistance.

Si on augmente la fréquence il vaut:

$$f \nearrow \Rightarrow X_C \searrow \Rightarrow U_C \searrow \Rightarrow U_R \nearrow \Rightarrow U_{OUT} \nearrow$$

Pour les très hautes fréquences il vaut donc:

$$\underline{\underline{U_{OUT} \approx U_{IN}}}$$

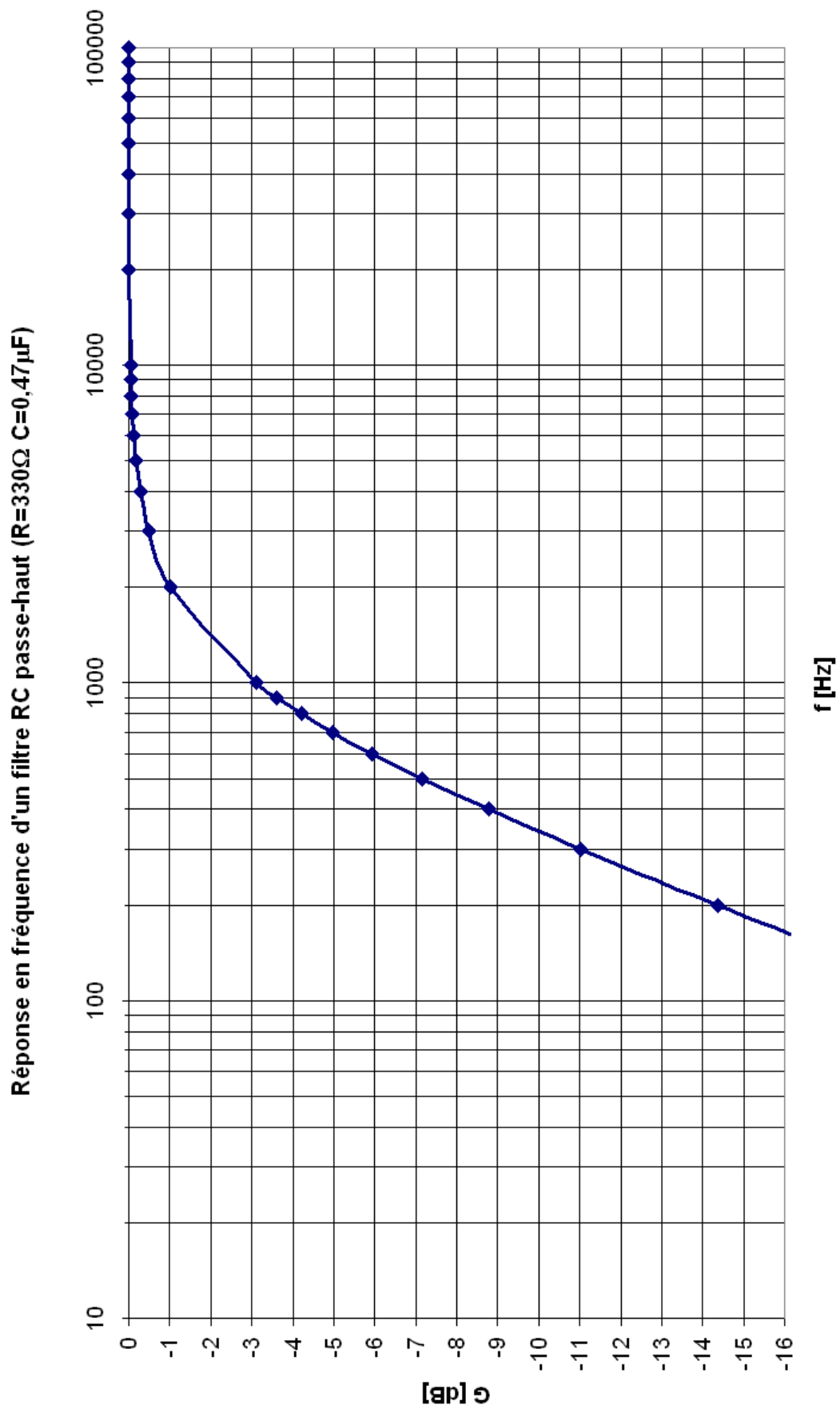
Si on réduit la fréquence il vaut:

$$f \searrow \Rightarrow X_C \nearrow \Rightarrow U_C \nearrow \Rightarrow U_R \searrow \Rightarrow U_{OUT} \searrow$$

Pour les très basses fréquences il vaut donc:

$$\underline{\underline{U_{OUT} \approx 0V}}$$

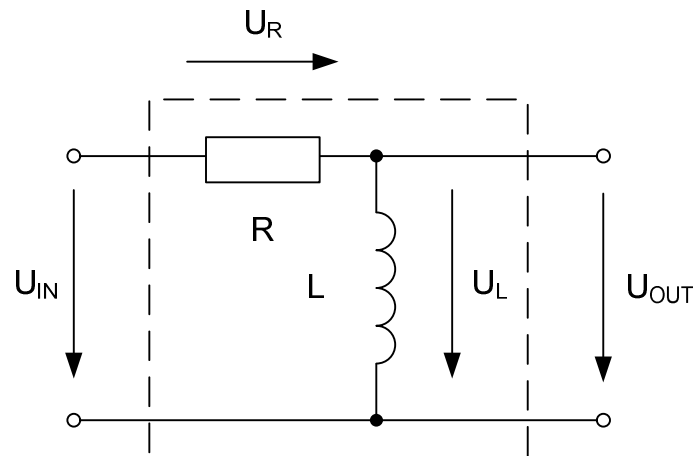
Si on augmente la fréquence f la tension de sortie U_s va donc augmenter graduellement. A l'aide d'une courbe de réponse en fréquence le comportement du circuit peut être visualisé pour toutes les fréquences. (voir aussi essai 7)



7.6 Filtre RL passe-haut

La différence entre le filtre RL passe-bas et passe-haut est que la bobine est remplacée par la résistance et vice versa.

circuit d'un filtre RL passe-haut:



fonctionnement:

Si on augmente la fréquence il vaut:

$$f \nearrow \Rightarrow X_L \nearrow \Rightarrow U_L \nearrow \Rightarrow U_{OUT} \nearrow$$

Pour les très hautes fréquences il vaut donc:

$$\underline{\underline{U_{OUT} \approx U_{IN}}}$$

Si on réduit la fréquence il vaut:

$$f \searrow \Rightarrow X_L \searrow \Rightarrow U_L \searrow \Rightarrow U_{OUT} \searrow$$

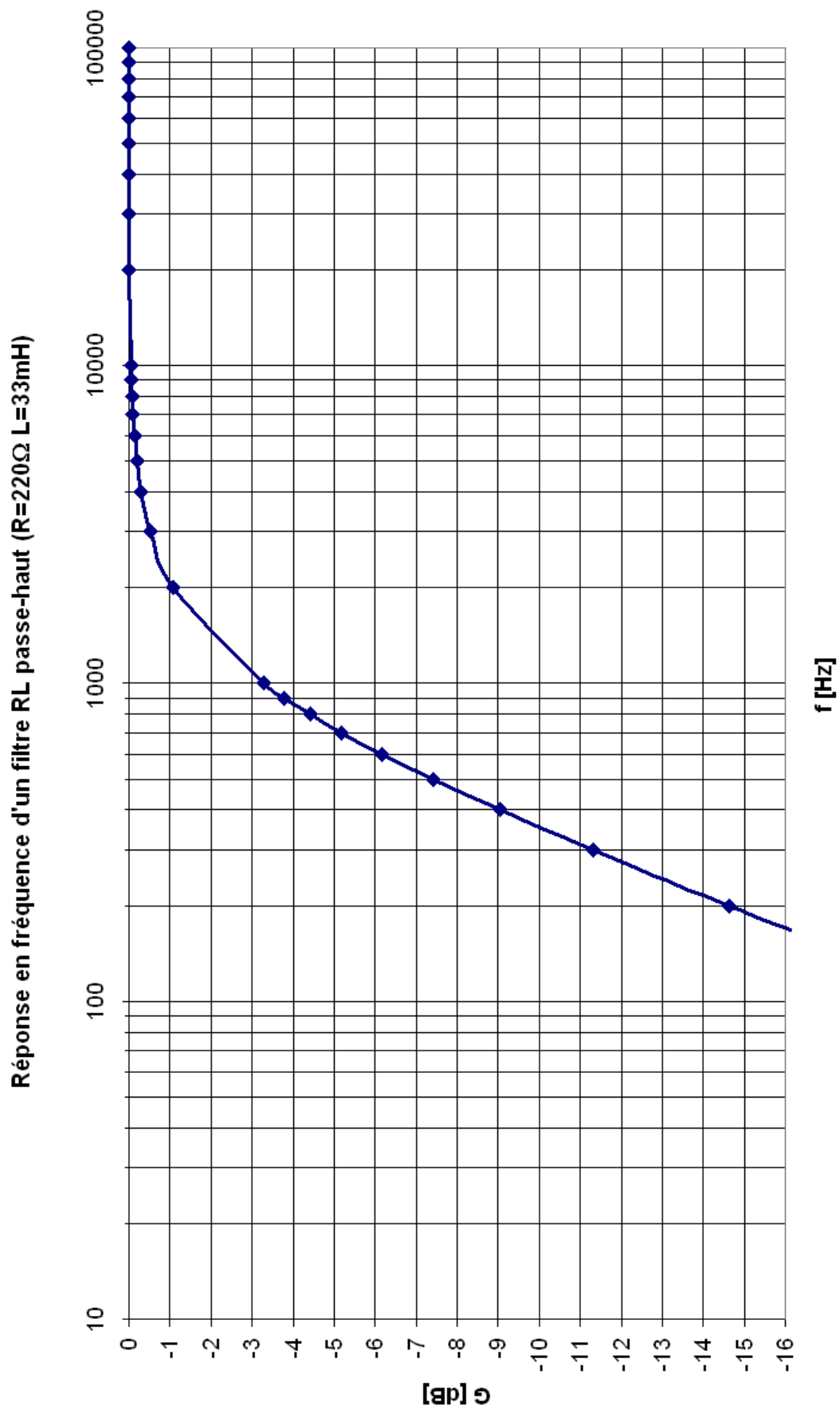
Pour les très basses fréquences il vaut donc:

$$\underline{\underline{U_{OUT} \approx 0V}}$$

fréquence de coupure:

Pour la fréquence de coupure f_c il vaut de même que pour le filtre RL passe-bas:

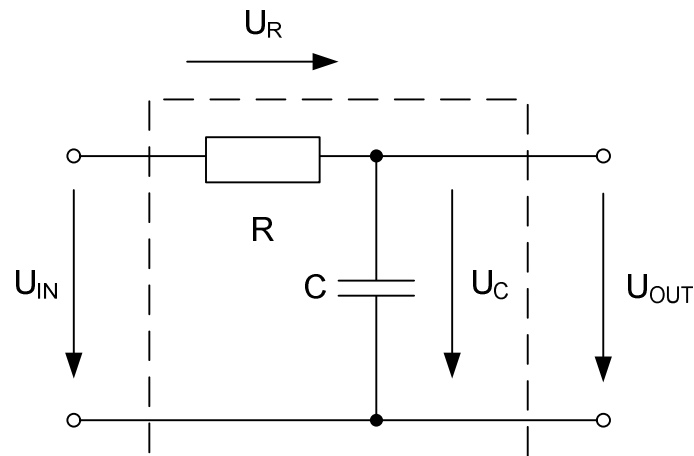
$$f_c = \frac{R}{2 \cdot \pi \cdot L}$$



7.7 Filtre RC passe-bas

La différence entre le filtre RC passe-bas et passe-haut est que le condensateur est remplacée par la résistance et vice versa.

circuit d'un filtre RC passe-bas:



fonctionnement:

Si on augmente la fréquence il vaut:

$$f \nearrow \Rightarrow X_C \searrow \Rightarrow U_C \searrow \Rightarrow U_{OUT} \searrow$$

Pour les très hautes fréquences il vaut donc:

$$\underline{\underline{U_{OUT} \approx 0V}}$$

Si on réduit la fréquence il vaut:

$$f \searrow \Rightarrow X_C \nearrow \Rightarrow U_C \nearrow \Rightarrow U_{OUT} \nearrow$$

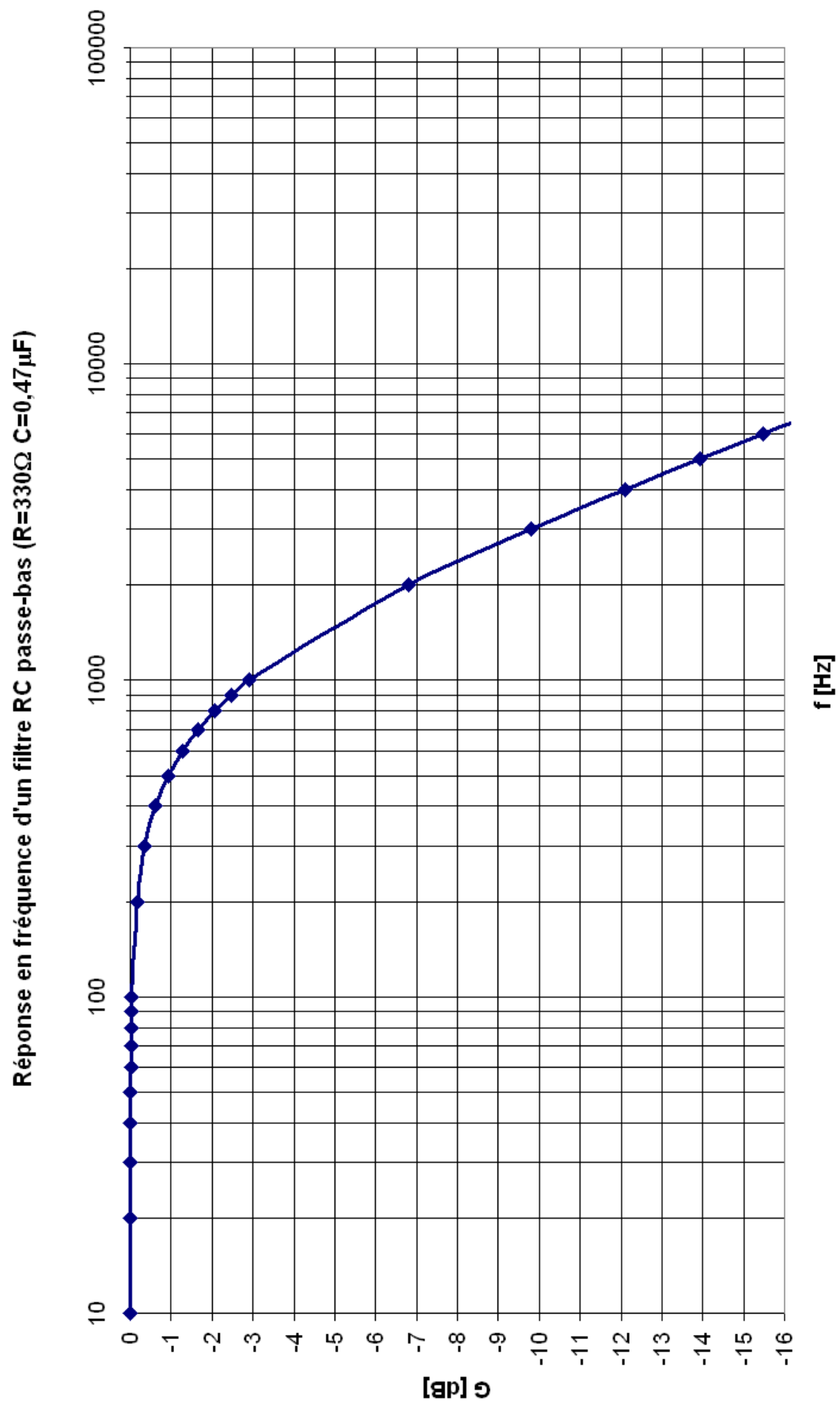
Pour les très basses fréquences il vaut donc:

$$\underline{\underline{U_{OUT} \approx U_{IN}}}$$

fréquence de coupure:

Pour la fréquence de coupure f_c il vaut de même que pour le filtre RC passe-haut:

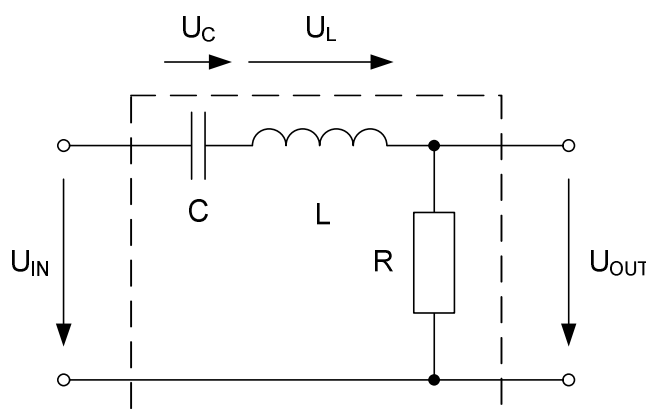
$$f_c = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C}$$



7.8 Filtre RLC passe-bande

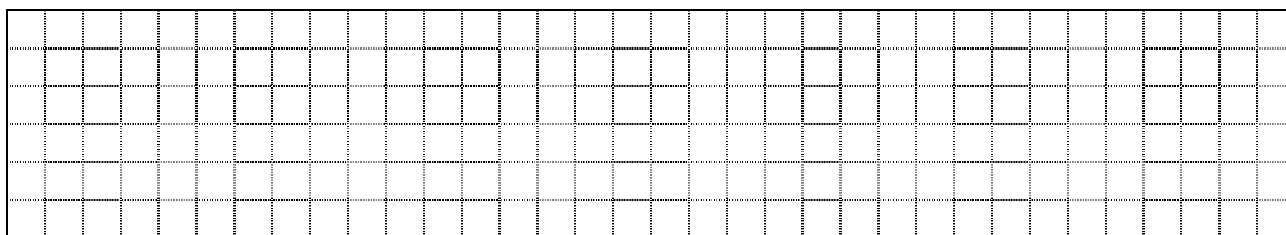
Un filtre passe-bande est un circuit électronique qui laisse passer les moyennes fréquences et qui atténue les basses et les hautes fréquences. Une façon de réaliser un tel filtre est le filtre RLC passe-bande.

circuit d'un filtre RLC passe-bande:

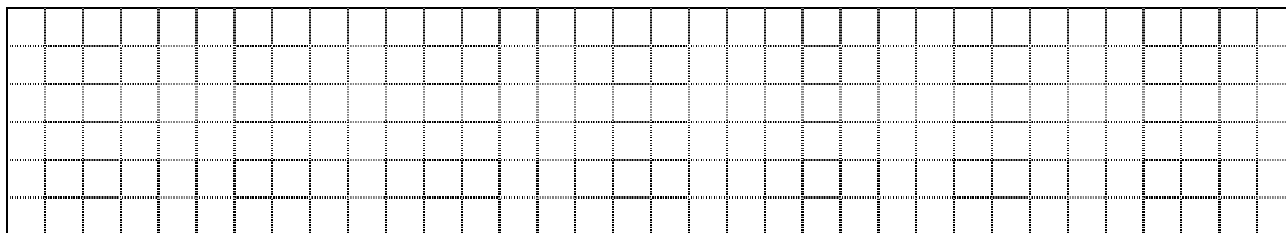


fonctionnement:

Pour les basses fréquences il vaut:



Pour les hautes fréquences il vaut:



A la fréquence de résonance f_0 il vaut:

Dans la courbe de réponse en fréquence d'un filtre passe-bande RLC on voit que le gain en tension G_U est 1 à une seule fréquence qu'on appelle fréquence de résonance f_0 . A cette fréquence ni X_L ni X_C sont zéro donc ni U_L ni U_C peuvent être zéro aussi. Avec la théorie du diviseur de tension on a donc des problèmes d'expliquer que $U_{OUT}=U_{IN}$ à la fréquence de résonance.

rappel de ELETE4:

Pour une fréquence quelconque il vaut pour un circuit RLC en série:

[illegible]

À la fréquence de résonance les diagrammes se transforment comme suit.

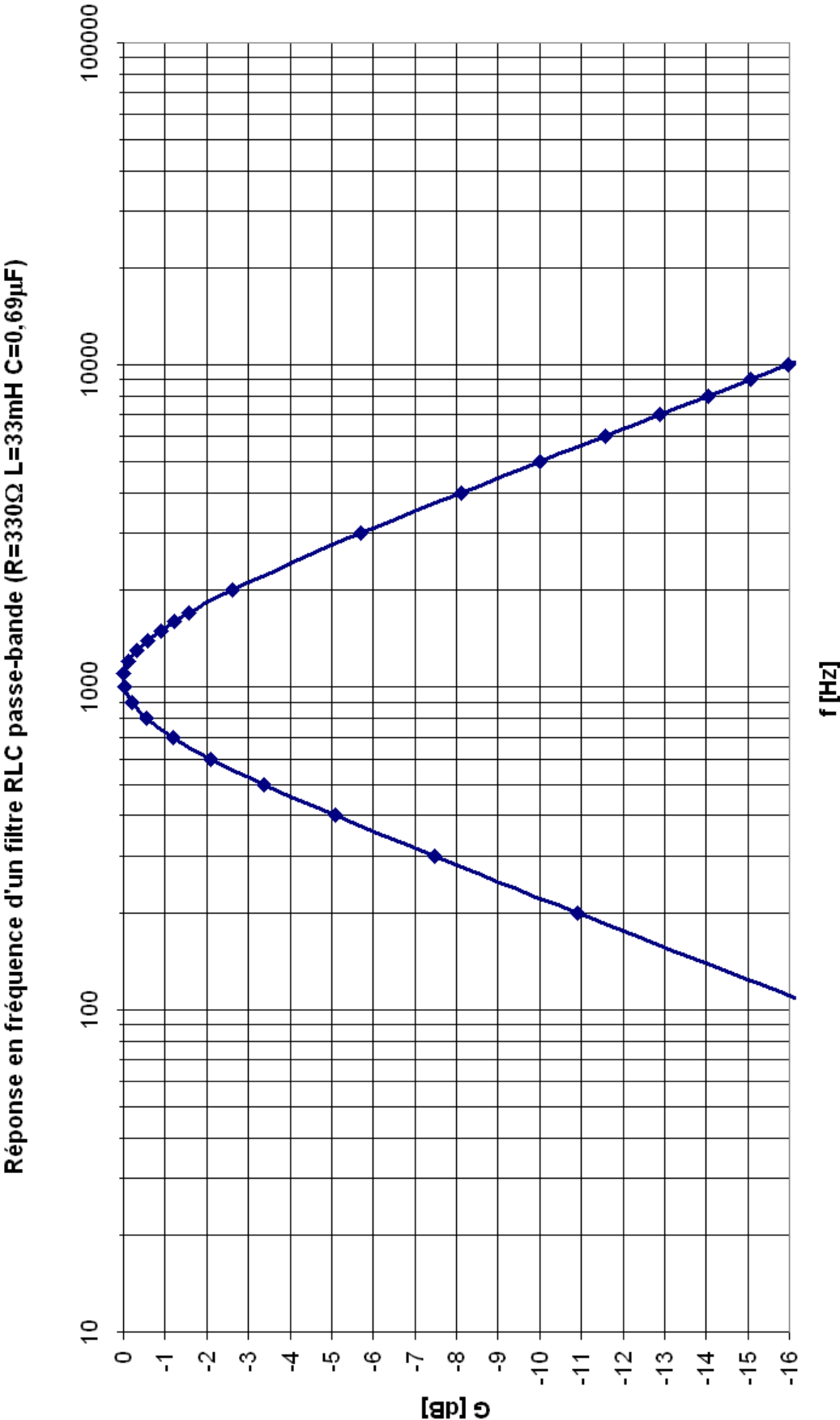
Si $f = f_0$, alors il vaut:

The image shows a full page of graph paper. It features a large grid of squares, each measuring 1 cm by 1 cm. The grid is composed of 20 columns and 20 rows of these small squares. The lines are thin and black, and the background is white. The grid covers the entire page, leaving a small margin at the top and bottom.

Dans le diagramme vectoriel des tensions on voit qu'à la fréquence de résonance la tension de sortie est égale à la tension d'entrée.

Dans le diagramme vectoriel des résistances on voit qu'à la fréquence de résonance tout le circuit se comporte comme une seule résistance ohmique.

Dans le diagramme vectoriel des puissances on voit qu'on peut compenser une puissance réactive inductive par une puissance réactive capacitive.



définitions:

On appelle fréquence de résonance f_0 la fréquence où le gain est maximal. Pour le filtre RLC passe-bande il vaut:

$$f_{0,RLC} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C}}$$

f_0 est la fréquence de résonance d'un filtre RLC passe-bande en Hertz (Hz)

L est l'inductance de la bobine en Henry (H)

C est la capacité du condensateur en Farad (F)

On appelle bande passante Δf la différence entre la fréquence de coupure supérieur f_{UC} et la fréquence de coupure inférieur f_{LC} .

$$\Delta f = f_{UC} - f_{LC}$$

Δf est la bande passante en Hertz (Hz)

f_{UC} est la fréquence de coupure supérieure en Hertz (Hz)

f_{LC} est la fréquence de coupure inférieure en Hertz (Hz)

Pour le filtre RLC passe-bande la bande passante est égale à:

$$\Delta f_{RLC} = \frac{R}{2 \cdot \pi \cdot L}$$

On appelle facteur de qualité Q d'un filtre passe-bande le rapport entre la fréquence de résonance f_0 et la bande passante.

$$Q = \frac{f_0}{\Delta f}$$

Q est le facteur de qualité (sans unité)

Par un filtre avec une grande qualité on comprend un filtre qui est très sélectif, c'est-à-dire un filtre qui a une petite bande passante.

Exercices sur le filtre RLC passe-bande:

1. Calculez la fréquence de résonance du filtre RLC passe-bande utilisé dans l'essai 7. Comparez cette valeur calculée avec la valeur déterminée par lecture graphique.
2. Déterminez la bande passante du filtre RLC passe-bande utilisé dans l'essai 7 de deux façons, premièrement par lecture graphique dans la courbe de réponse en fréquence et deuxièmement par calcul à partir des valeurs des composants. Comparez les deux valeurs trouvées.

Pour information:

En informatique le terme "bande passante" est utilisé, par abus de langage, comme synonyme pour "vitesse de transmission". On dit par exemple: "Ma ligne DSL a une bande passante de 200 ko/s." au lieu de "Ma ligne DSL a une vitesse de transmission de 200 ko/s.". Cette erreur de langage provient du fait qu'il y a une relation entre la bande passante d'une ligne de transmission et la vitesse maximale de transmission. Le plus grande la bande passante d'une ligne de transmission est, le plus grande la vitesse maximale de transmission est elle aussi. Pourtant les deux termes ne sont pas des synonymes.

3. Calculez le facteur de qualité du filtre RLC passe-bande utilisé.
4. Développez le circuit d'un filtre coupe-bande.
5. Développez le circuit d'un autre filtre passe-bande qui ne contient pas de bobines en vous rappelant qu'un filtre passe-bande atténue les basses et les hautes fréquences.