

DEVOIR ECRIT  
DU SYSTEME A LA FONCTION

Durée : 2h

Documents et calculatrices interdits

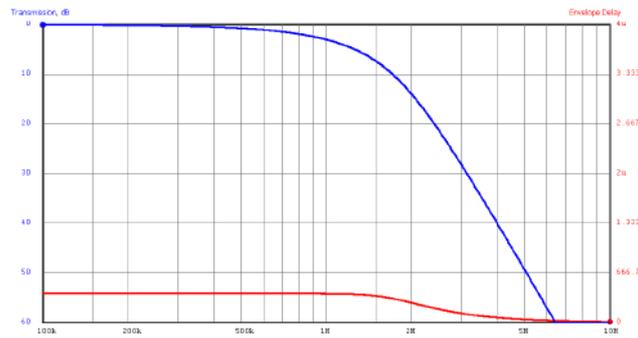
Il n'y a jamais de longs développements de calculs. Pensez à porter un regard critique sur la pertinence de vos résultats. Un formulaire mathématique est donné en dernière page de ce DE, commencez par le lire.

Les objectifs de temps ne sont que des valeurs **indicatives** conseillées pour terminer le DE dans les temps. **Les réponses non accompagnées de justifications sont fortement susceptibles de ne rapporter aucun point**

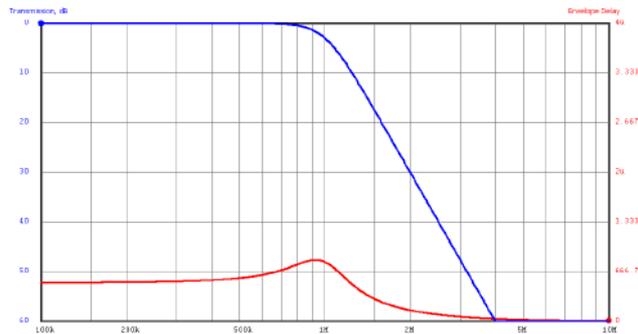
**1. Filtres complexes (3 points, objectif de temps : ~15min)**

Ci-dessous sont affichés les diagrammes de Bode en amplitude (courbes du haut, lecture sur l'axe des ordonnées situé à gauche), et les courbes de délai de groupe (courbes du bas, lecture sur l'axe des ordonnées situé à droite) pour trois filtres ayant chacun une fréquence de coupure de 1MHz. Les valeurs sur les axes ne sont pas forcément lisibles sur votre sujet, mais vous n'en avez pas besoin : les trois graphiques sont dessinés sur des repères géométriques ayant exactement les mêmes échelles.

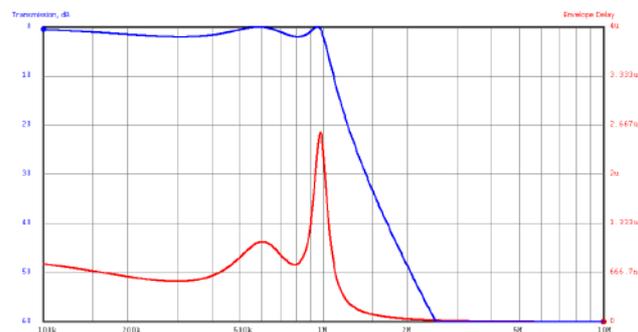
Filtre de type Bessel



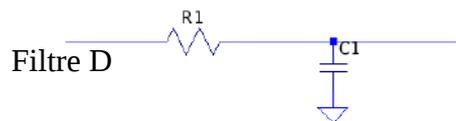
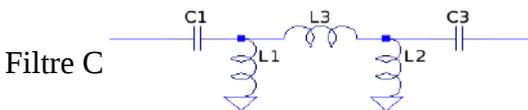
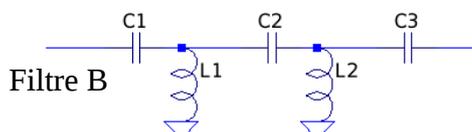
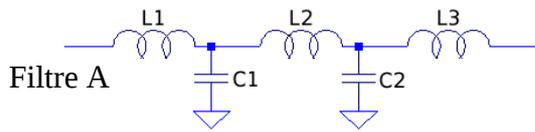
Filtre de type Butterworth



Filtre de type Chebyshev



- 1.1 Quel filtre serait le plus performant pour une application de type audio ? Pourquoi ?
- 1.2 Quel filtre serait le plus performant pour une application de type transmission numérique hertzienne, où le critère le plus important serait l'atténuation à 2.0MHz ? Pourquoi ?
- 1.3 Parmi les schémas suivants lequel permettrait (ou lesquels permettraient) de réaliser les filtres décrits plus haut ? Pourquoi ?

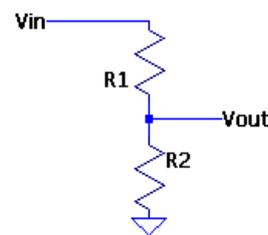


## 2. Démontrez la règle du pont diviseur de tension (2 pts, objectif de temps : <10min)

Démontrez la règle du pont diviseur de tension, qui déclare que  $V_{out} = V_{in} \cdot R_2 / (R_1 + R_2)$

Vous pouvez utiliser la loi d'Ohm, loi des nœuds, les lois d'additivité des tensions, combinaisons de résistances en série, en parallèle, PAC (attention !!!), etc...

Je vous suggère de noter sur le schéma un courant qui vous aidera ensuite à faire le calcul.



## 3. Réponse d'un filtre (4 pts, objectif de temps : ~20min)

La fonction de transfert du filtre représenté par la figure ci-contre est égale à :

$$V_{out}/V_{in} = H(j\omega) = 10000 \cdot (10 + j\omega) / (100 + j\omega)^2$$

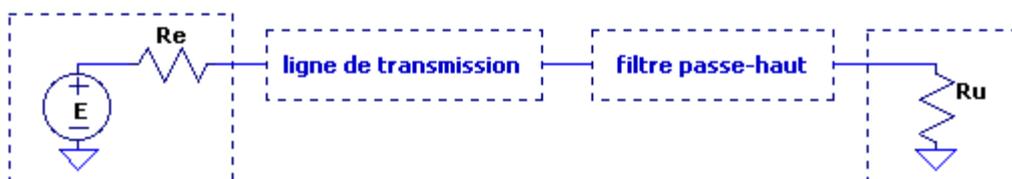


3.1 Tracez son diagramme de Bode

3.2 On injecte à l'entrée de ce filtre un signal sinusoïdal de fréquence 150Hz et d'amplitude 1V. Quel sera le signal de sortie ? (forme, fréquence, amplitude ?) Vous pouvez utiliser la méthode graphique ou calculatoire. Une marge d'erreur sera tolérée.

## 4. Système de transmission (3 pts, objectif de temps : ~15min)

On considère le système de transmission suivant :



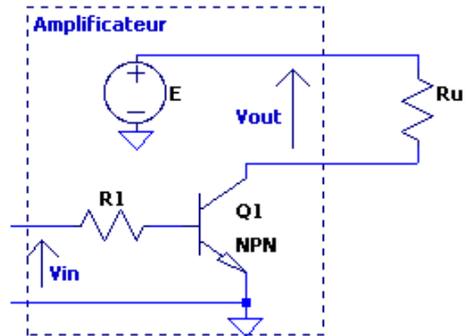
- 4.1 Quel forme a usuellement le diagramme de Bode de la ligne de transmission ? (un petit croquis vite fait est le bienvenu, ainsi qu'une justification qui explique en deux mots pourquoi)
- 4.2 Quels problèmes cela peut-il entraîner ? (en quelques lignes seulement : je n'attends pas ici une longue dissertation !)
- 4.3 A quoi sert le filtre passe-haut ?
- 4.4 Comment dimensionne-t-on ce filtre passe-haut ?

### 5. Chaîne de traitement audio (8 pts, objectif de temps : ~50min)

On considère le schéma d'amplificateur ci-contre.

Les valeurs de composants sont les suivantes :

- $R_u = 1k$
- $R_1 = 10k$
- $E = 10V$
- Le beta du transistor est égal à 100



5.1 Combien vaut  $V_{be}$  ?

Pour la suite des calculs, on considèrera que  $V_{be}$  est négligeable devant toutes les autres tensions du montage.

5.2 Calculer  $V_{out}/V_{in}$

5.3 Calculer le gain en puissance (noté  $G_p = P_{out} / P_{in}$ ) de ce montage. Donnez la valeur de  $G_p$  en dB.

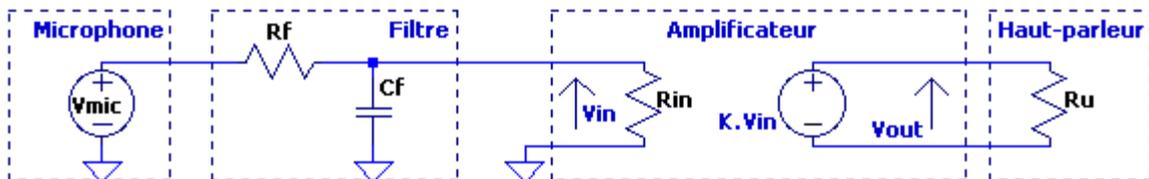
On modélise cet amplificateur par le quadripôle ci-contre.

(Il est à noter que cette modélisation n'est valable que quand la sortie de l'amplificateur est chargée par une résistance de valeur  $R_u$ )



5.4 Calculer  $R_{in}$ ,  $K$ , et la valeur de  $K$  en dB

On intègre cet amplificateur dans la chaîne de traitement audio ci-dessous, avec  $R_f = 10k$  et  $C_f = 10nF$  :



5.5 On simplifie ce schéma en regroupant  $V_{mic}$ ,  $R_f$ ,  $R_{in}$  en un générateur de Thévenin  $E_{th}$ ,  $R_{th}$ . Dessiner le nouveau schéma et calculer  $E_{th}$  et  $R_{th}$  en fonction de  $V_{mic}$ ,  $R_f$ ,  $R_{in}$ .

5.6 Calculer  $V_{out}/V_{mic}$  en fonction de  $R_f$ ,  $Z_{cf}$ ,  $R_{in}$ , et  $K$

5.7 Tracer le diagramme de Bode de  $V_{out}/V_{mic}$ .

5.8 Quel est le type de filtrage réalisé ? Quelle est sa fréquence de coupure (vérifiez qu'elle est cohérente avec une application audio) ?

## 6. Questions sur l'AOP (2 pts, objectif de temps : ~5min)

6.1 Combien vaut la résistance d'entrée d'un AOP ?

6.2 Quand l'AOP fonctionne en régime linéaire, que peut-on dire de sa tension d'entrée et de son courant d'entrée ?

6.3 Citez deux avantages des filtres actifs.

## 7. Questions subsidiaires non obligatoires (0 pts, objectif de temps : <1min)

6.1 En longueur, ce DE était :

- a) court
- b) normal
- c) long

6.2 En difficulté, ce DE était :

- a) correct
- b) dur
- c) vraiment très dur

6.3 Quelle note pensez-vous avoir ?

Rappels mathématiques :

-  $\omega = 2\pi.f$

- on peut considérer que  $1000/(2\pi) \approx 150$

- la notation 'k' signifie «  $\times 10^3$  ». Ainsi, 0.7k = 700, 1.5k = 1500, 3k = 3000, etc...

Table de log :

$\log(100) = 2$	$10^2 = 100$
$\log(10) = 1$	$10^1 = 10$
$\log(4) \approx 0.6$	$10^{0.6} \approx 4$
$\log(3) \approx 0.5$	$10^{0.5} \approx 3$
$\log(2) \approx 0.3$	$10^{0.3} \approx 2$
$\log(1.4) \approx 0.15$	$10^{0.15} \approx 1.4$
$\log(1.26) \approx 0.1$	$10^{0.1} \approx 1.26$
$\log(1.12) \approx 0.05$	$10^{0.05} \approx 1.12$

Si vous avez un log que vous ne savez **vraiment** pas calculer, laissez-le sous sa forme non développée, par exemple :  $\log(5/7)$ .

# CORRIGE

Remarques sur ce corrigé :

- je détaille beaucoup les explications et les calculs pour qu'un maximum d'étudiants puissent les comprendre.
- vous pouvez avoir tous les points en donnant beaucoup moins d'explications que moi et en détaillant beaucoup moins les calculs. Simplement, vous devez mettre suffisamment de justification pour que je sois convaincu que vous comprenez ce que vous faites et que vous ne sortez pas vos calculs du hasard.
- les passages en italique sont des commentaires de ma part dans ce corrigé
- en électronique, tous les chemins mènent à Rome. Quand plusieurs méthodes sont possibles, je les ai décrites, mais une seule est nécessaire pour avoir les points, vous êtes libre de choisir celle qui vous inspire le plus

## 1. Filtres complexes (3 points, objectif de temps : ~15min)

### 1.1 Quel filtre serait le plus performant pour une application de type audio ? Pourquoi ?

Un filtre sert à laisser passer certaines fréquences voulues (bande passante, ou 'passband') et à couper d'autres fréquences non désirées (bande coupée, ou 'stopband')

Le filtre de Chebyshev a l'avantage de couper très rapidement les fréquences de la bande coupée dès qu'elles dépassent la fréquence de coupure. Le coude de coupure est très franc et la pente de coupure est très raide. Cependant, dans la bande passante, le délai de groupe n'est pas du tout stable en fonction de la fréquence, c'est-à-dire que certaines fréquences mettront plus de temps à traverser le filtre que d'autres. Il en résulte des déformations du signal qui sont préjudiciables à un signal audio ou vidéo. De même, dans la bande passante, le gain du filtre n'est pas constant en fonction de la fréquence. Certaines fréquences seront plus atténuées que d'autres, ce qui participe également à déformer le signal.

Le filtre Butterworth a un coude de coupure moins franc et une pente d'atténuation moins forte qu'un Chebyshev. Ainsi, les fréquences de la bande coupée (dont les fréquences qu'on veut enlever) sont moins atténuées. C'est un léger problème. Cependant, le gain dans la bande passante est constant. Le délai de groupe dans la bande passante est plus constant qu'avec le Chebyshev, même s'il n'est pas tout à fait stable : cela conduira donc à des déformations légères du signal

Le filtre Bessel a un coude de coupure très peu franc. Ce n'est pas l'idéal pour atténuer les fréquences de la bande coupée. Mais il a un gain et un délai de groupe qui sont très constants dans la bande passante, ce qui permet d'avoir très peu de déformations du signal, ce qui est idéal pour de l'audio ou de l'image haute qualité.

Bilan : le Chebyshev est le moins bon, le Butterworth pourrait constituer un bon compromis entre rapidité d'atténuation et qualité du signal de sortie, mais c'est le Bessel qui est le plus adapté car il déforme le moins le signal.

(note : il n'était pas nécessaire d'écrire tout ça pour avoir tous les points !)

**1.2 Quel filtre serait le plus performant pour une application de type transmission numérique hertzienne, où le critère le plus important serait l'atténuation à 2.0MHz ? Pourquoi ?**

Pour une transmission numérique, on est moins contraint par les distorsions de signal. Par contre, on est plus exigeant sur le fait d'atténuer fortement les signaux non désirés. Dans ce cas, le Chebyshev est le plus adapté

**1.3 Parmi les schémas suivants lequel permettrait (ou lesquels permettraient) de réaliser les filtres décrits plus haut ? Pourquoi ?**

Les trois filtres présentés ci-dessus sont des filtres passe-bas complexes, donc d'un ordre supérieur à 1.

Pour les 4 schémas proposés, on détermine par analyse HF/BF (*pour la méthode : voir le second poly de cours, pages 17 et 18*) si ce sont des passe-haut ou des passe-bas, ainsi que l'ordre du filtre réalisé.

- Le B est un passe-haut.
- Le filtre C est un passe-bande.
- Le filtre D est un passe-bas, mais il est du premier ordre (un seul élément filtrant), il ne convient pas pour un filtre complexe
- Le filtre A est un passe-bas du 5ème ordre (5 éléments filtrants), il peut donc convenir

**2. Démontrez la règle du pont diviseur de tension (2 pts, objectif de temps : <10min)**

Soit  $I$ , le courant qui passe dans les deux résistances  $R_1$  et  $R_2$  (*qui sont en série*) :  $I = I_{R_1} = I_{R_2}$

(note :  $I_{out} = 0$  car il n'y a rien de branché sur la sortie  $V_{out}$ , donc on n'en parle pas puisqu'il est égal à 0, il n'entre pas dans les calculs)

Combien vaut  $I$  ?

Loi d'ohm :  $V_{in} = (R_1 + R_2) \cdot I$

Donc :  $I = V_{in} / (R_1 + R_2)$

Combien vaut  $V_{out}$  ?

$V_{out} = V_{R_2} = I_{R_2} \cdot R_2$  (loi d'Ohm) =  $I \cdot R_2$

Donc :  $V_{out} = V_{in} \cdot R_2 / (R_1 + R_2)$

**3. Réponse d'un filtre (4 pts, objectif de temps : ~20min)**

**3.1 Tracez son diagramme de Bode**

Cf Campus : [DE 2011-2012 système fonction corrigé.pdf](#) et [Corrigé TD4, Q2.3 : Bode H3\(jw\)](#), ce sont quasiment les mêmes diagrammes de Bode.

**3.2 On injecte à l'entrée de ce filtre un signal sinusoïdal de fréquence 150Hz et d'amplitude 1V. Quel sera le signal de sortie ? (forme, fréquence, amplitude ?) Vous pouvez utiliser la méthode graphique ou calculatoire. Une marge d'erreur sera tolérée.**

Le signal de sortie aura une forme sinusoïdale et une fréquence de 150Hz, comme le signal d'entrée.

On sait que  $V_{in}=1V$  et que  $f=150Hz$  donc  $\omega=2.\pi.f \approx 1000$

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

$$\text{Donc } V_{out} = H(j\omega) \cdot V_{in}$$

Attention, ce sont des nombres complexes. Pour connaître l'**amplitude** de  $V_{out}$  il faut prendre les modules :

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

Pour la suite, il y a deux méthodes :

Méthode 1 (calculatoire) :

$$|V_{out}| = |10000 \cdot (10 + j\omega) / (100 + j\omega)^2| \cdot |V_{in}|$$

$$|V_{out}| = 10000 \cdot |10 + j\omega| / |100 + j\omega|^2 \cdot |V_{in}|$$

$$|V_{out}| = 10000 \cdot \text{racine}(10^2 + \omega^2) / (\text{racine}(100^2 + \omega^2))^2 \cdot |V_{in}|$$

$$|V_{out}| = 10000 \cdot \text{racine}(10^2 + 1000^2) / (100^2 + 1000^2) \cdot 1V$$

$$|V_{out}| \approx 10000 \cdot 1000 / 1010000 \cdot 1V$$

$$|V_{out}| \approx 10V$$

Méthode 2 (graphique) :

Graphiquement, on voit sur le diagramme de Bode que la courbe de  $|H(j\omega)|$  vaut 20dB à l'abscisse  $\omega=1000$  (soit  $f=150Hz$ ).

Or,  $H(j\omega)$  est un ratio de tension, donc :

$$\text{Donc : } H(j\omega)_{dB} = 20 \cdot \log(|H(j\omega)|)$$

$$\text{Donc : } \log(|H(j\omega)|) = H(j\omega)_{dB} / 20$$

$$\text{Donc : } |H(j\omega)| = 10^{(H(j\omega)_{dB} / 20)} = 10^{(20dB / 20)} = 10^1 = 10$$

$$\text{Donc } |V_{out}| = 10 \cdot |V_{in}| = 10 \cdot 1V = 10V$$

#### 4. Système de transmission (3 pts, objectif de temps : ~15min)

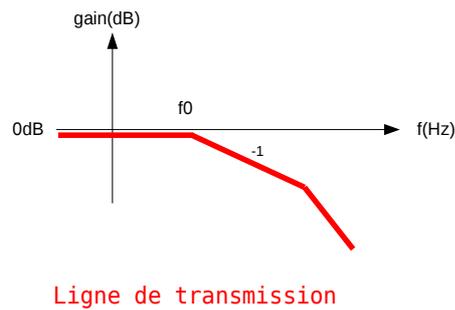
Cet exercice illustre le problème d'égalisation vu en cours (pages 68 à 73 du premier poly, et pages 53 et 54 du second poly)

##### 4.1 Quel forme a usuellement le diagramme de Bode de la ligne de transmission ? (un petit croquis vite fait est le bienvenu, ainsi qu'une justification qui explique en deux mots pourquoi)

Usuellement, une ligne de transmission se comporte comme un filtre passe-bas, à cause de la résistance linéique (non souhaitée) que constitue ses conducteurs et de le condensateur (également non souhaité) présent entre les deux conducteurs de la ligne.

D'autres effets de type passe-bas s'ajoutent à cela.

Donc un diagramme de Bode comme suit :



#### 4.2 Quels problèmes cela peut-il entraîner ? (en quelques lignes seulement : je n'attends pas ici une longue dissertation !)

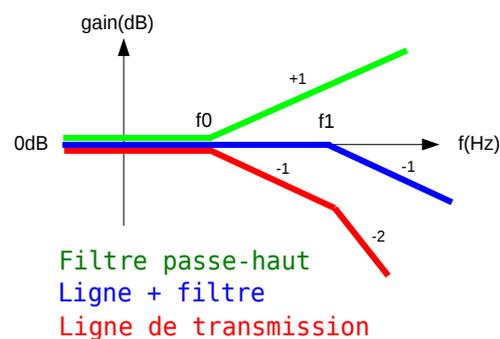
Si la ligne est un filtre passe-bas, elle atténue les fréquences qui sont au-dessus de sa fréquence de coupure (notée  $f_0$ ). On peut donc difficilement transmettre des informations à une fréquence supérieure à cette fréquence de coupure, car le signal deviendrait alors très atténué

#### 4.3 A quoi sert le filtre passe-haut ?

Le filtre passe-haut sert dans ce cas à amplifier les hautes fréquences qui ont été involontairement atténuées par les éléments parasites de la ligne. Ainsi, il rehausse les hautes fréquences en compensant l'atténuation qu'elles ont subi dans la ligne.

#### 4.4 Comment dimensionne-t-on ce filtre passe-haut ?

On fait en sorte que la fréquence de coupure du filtre soit égale à la fréquence de coupure de la ligne de transmission  $f_0$ . Ainsi, le diagramme de Bode de l'ensemble ligne + filtre, qui est égal à la somme des deux diagrammes de Bode devient plus plat que s'il n'y avait pas le filtre. La fréquence de coupure de l'ensemble devient plus élevée (nouvelle fréquence de coupure =  $f_1$ ) et on peut alors transmettre sans atténuation des signaux plus rapides que sans le filtre.



Grâce à ce filtre passe-haut, on peut donc utiliser la ligne à des fréquences plus élevées pour des débits d'information plus élevés.

Cela s'appelle l'équalisation d'une ligne (et ça a été vu lors du dernier amphi auquel malheureusement tout le monde n'était pas là...)

## 5. Chaîne de traitement audio (8 pts, objectif de temps : ~50min)

### 5.1 Combien vaut $V_{be}$ ?

On considère que le transistor est en régime linéaire, donc :  
 $V_{be} \approx 0.6V$

### 5.2 Calculer $V_{out}/V_{in}$

Comme on le voit sur le schéma,  $V_{out}$  est la tension aux bornes de la résistance  $R_u$   
Donc :  $V_{out} = R_u \cdot I_u$

Sur le schéma, on voit également que le courant qui passe dans  $R_u$  passe aussi intégralement dans le collecteur du transistor. Ainsi :  $I_u = I_c$ .

Le transistor étant en régime linéaire :  $I_c = \beta \cdot I_b$

On observe que le courant qui passe dans  $I_b$  passe aussi intégralement dans  $R_1$ . Ainsi :  $I_b = I_{R1}$

D'après la loi d'ohm :  $I_{R1} = V_{R1} / R_1$

D'après la loi des mailles :  $V_{in} = V_{be} + V_{R1} \approx 0V + V_{R1} \approx V_{R1}$

En combinant toutes ces données, on obtient :  
 $V_{out} = R_u \cdot \beta \cdot V_{in} / R_1$

Donc :  **$V_{out}/V_{in} = \beta \cdot R_u / R_1$**

A.N :  $V_{out}/V_{in} = 100 \cdot 1k / 10k = 10$

La tension de sortie est 10 fois plus grande que la tension d'entrée

### 5.3 Calculer le gain en puissance (noté $G_p = P_{out} / P_{in}$ ) de ce montage. Donnez la valeur de $G_p$ en dB.

Commençons par identifier :

- le courant d'entrée : c'est  $I_u$  (qui est d'ailleurs égal à  $I_c$ )
- le courant de sortie : c'est  $I_{R1}$  (qui est d'ailleurs égal à  $I_b$ )

#### Méthode 1 :

On sait que la puissance développée sur une résistance est égale à  $P=U^2/R$

Donc :  $P_{out} = V_{out}^2 / R_u$

Et :  $P_{in} = V_{in}^2 / R_1$  (en effet : *comme  $V_{be} = 0$ , c'est comme si  $R_1$  était branché entre  $V_{in}$  et la masse. Donc la résistance d'entrée du montage, sur laquelle s'applique  $V_{in}$  est bien  $R_1$ )*)

$P_{out} / P_{in} = V_{out}^2 / R_u / (V_{in}^2 / R_1) = (V_{out}/V_{in})^2 \cdot (R_1/R_u)$

$P_{out} / P_{in} = (\beta \cdot R_u / R_1)^2 \cdot (R_1/R_u) = \beta^2 \cdot (R_u / R_1)^2 \cdot (R_1/R_u)$

**$P_{out} / P_{in} = \beta^2 \cdot R_u / R_1$**

### Méthode 2 :

On sait que la puissance développée sur une résistance est égale à  $P=R.I^2$

$$\text{Donc : } P_{\text{out}} = R_u \cdot I_u^2$$

$$\text{Et : } P_{\text{in}} = R_1 \cdot I_{R1}^2$$

De plus :  $I_u = I_c$ , et  $I_{\text{in}} = I_b$

$$P_{\text{out}} / P_{\text{in}} = (R_u \cdot I_c^2) / (R_1 \cdot I_b^2)$$

$$P_{\text{out}} / P_{\text{in}} = R_u / R_1 \cdot (I_c / I_b)^2$$

Or  $I_c = \beta \cdot I_b$ , donc  $\beta = I_c / I_b$

$$\text{Donc : } \mathbf{P_{out} / P_{in} = R_u / R_1 \cdot \beta^2}$$

### Méthode 3 :

On sait que la puissance est égale à  $P=U.I$

$$\text{Donc : } P_{\text{out}} = V_{\text{out}} \cdot I_u$$

$$\text{Et : } P_{\text{in}} = V_{\text{in}} \cdot I_{R1}$$

$$P_{\text{out}} / P_{\text{in}} = (V_{\text{out}} \cdot I_c) / (V_{\text{in}} \cdot I_b)$$

$$P_{\text{out}} / P_{\text{in}} = (V_{\text{out}} / V_{\text{in}}) \cdot (I_c / I_b)$$

$$P_{\text{out}} / P_{\text{in}} = (\beta \cdot R_u / R_1) \cdot \beta \quad (\text{on réutilise le résultat de la Q5.2})$$

$$\text{Donc : } \mathbf{P_{out} / P_{in} = R_u / R_1 \cdot \beta^2}$$

### A.N. :

$$P_{\text{out}} / P_{\text{in}} = 100^2 \cdot 1k / 10k = 1000$$

La puissance de sortie est 1000 fois plus forte que la puissance d'entrée.

*Cela peut paraître élevé, mais la gamme de puissance utilisée en électronique est très étendue (du femtoWatt, voire moins jusqu'au kWatt voire plus), donc amplifier une puissance par 1000 est finalement assez courant en électronique.*

## **5.4 Calculer Rin, K, et la valeur de K en dB**

On calcule  $R_{\text{in}}$ , et de manière à ce que le modèle soit équivalent en tous points au schéma de l'amplificateur.

La résistance d'entrée de l'amplificateur est  $R_1$  (vu plus haut en Q5.3, méthode 1). La résistance d'entrée du modèle est  $R_{\text{in}}$ . Pour que les deux montages soient équivalents, il faut que ces deux résistances soient égales.

$$\text{Donc : } \mathbf{R_{in} = R_1}$$

Le gain en tension de l'ampli est  $V_{\text{out}}/V_{\text{in}} = \beta \cdot R_u / R_1$  (vu en Q5.2)

Le gain en tension du modèle est  $V_{\text{out}}/V_{\text{in}} = (K \cdot V_{\text{in}}) / V_{\text{in}} = K$

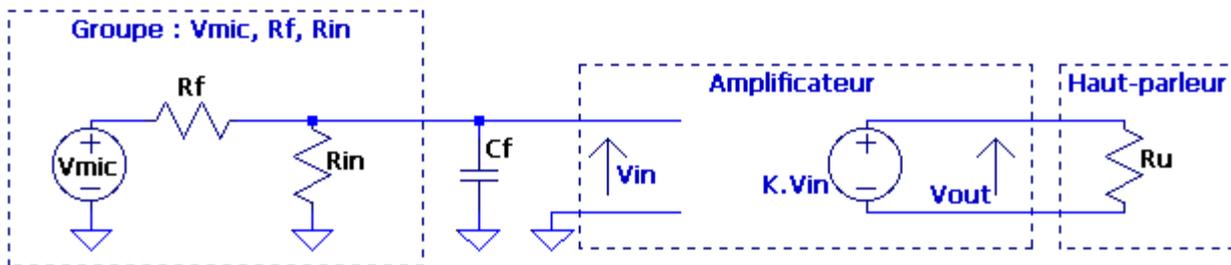
Pour que les deux montages soient équivalents, il faut que ces deux gains en tension soient égaux.  
 Donc :  $K = \beta \cdot R_u / R_1 = 10$

K est un ratio de tensions.

Donc  $K_{dB} = 20 \cdot \log(K) = 20 \cdot \log(10) = 20 \cdot 1 = 20dB$

**5.5 On simplifie ce schéma en regroupant  $V_{mic}$ ,  $R_f$ ,  $R_{in}$  en un générateur de Thévenin  $E_{th}$ ,  $R_{th}$ . Dessiner le nouveau schéma et calculer  $E_{th}$  et  $R_{th}$  en fonction de  $V_{mic}$ ,  $R_f$ ,  $R_{in}$ .**

Comme beaucoup d'entre vous ont lamentablement échoué sur cette question facile, commençons par dessiner un schéma où l'on regroupe ensemble les composants que l'énoncé demande de regrouper en un générateur de Thévenin :  $V_{mic}$ ,  $R_f$ ,  $R_{in}$  :

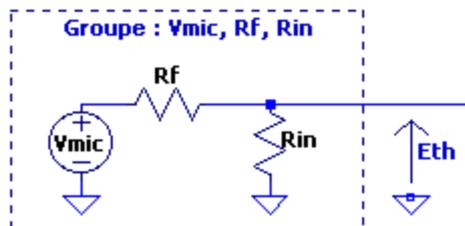


On veut donc modéliser notre groupe de composants par un générateur de Thévenin qui lui est équivalent :



Calculons  $E_{th}$

$E_{th}$  est la tension de sortie à vide du montage modélisé, c'est-à-dire la tension de sortie quand on ne branche rien en sortie :



Ainsi, d'après la règle du pont diviseur :

$$E_{th} = V_{mic} \cdot R_{in} / (R_{in} + R_f)$$

Calculons  $R_{th}$

Rth est la résistance équivalente vue entre la sortie du montage et la masse une fois qu'on a coupé les générateurs. Redessinons le montage, génés coupés, et la résistance équivalente vue entre la sortie du montage et la masse :



Ainsi, on voit donc que :

$$\mathbf{R_{th} = R_{in} // R_f = R_{in} \cdot R_f / (R_{in} + R_f)}$$

### 5.6 Calculer Vout/Vmic en fonction de Rf, Zcf, Rin, et K

$$V_{out} = K \cdot V_{in}$$

Ok, maintenant, combien vaut Vin ?

Méthode bourrin (on utilise le schéma non simplifié) :

$$V_{in} = V_{mic} \cdot (Z_{cf} // R_{in}) / ((Z_{cf} // R_{in}) + R_f)$$

$V_{in} = V_{mic} / (1 + R_f / (Z_{cf} // R_{in}))$  (quand on a un  $(Z_{cf} // R_{in})$  en haut et en bas, on le simplifie **avant de le développer!**)

$$V_{in} = V_{mic} / (1 + R_f / ((Z_{cf} \cdot R_{in}) / (Z_{cf} + R_{in})))$$

$$V_{in} = V_{mic} / (1 + R_f \cdot (Z_{cf} + R_{in}) / (Z_{cf} \cdot R_{in}))$$

$$V_{in} = V_{mic} / (1 + R_f \cdot (1 / R_{in} + 1 / Z_{cf}))$$

$$V_{in} = V_{mic} / (1 + R_f / R_{in} + R_f / Z_{cf})$$

$$\mathbf{V_{in} = V_{mic} / (1 + R_f / R_{in} + j \cdot C_f \cdot R_f \cdot \omega)}$$

Méthode rusée (on utilise le schéma simplifié, puisqu'il y a moins de composants dessus) :

$$V_{in} = E_{th} \cdot Z_{cf} / (Z_{cf} + R_{th})$$

$$V_{in} = V_{mic} \cdot R_{in} / (R_{in} + R_f) \cdot Z_{cf} / (Z_{cf} + R_{in} // R_f)$$

$V_{in} = V_{mic} \cdot R_{in} / (R_{in} + R_f) \cdot 1 / (1 + (R_{in} // R_f) / Z_c)$  (dès qu'on a un  $Z_c$  dans un ratio, on simplifie par  $Z_c$  le numérateur et le dénominateur et ça facilite la suite des calculs)

$$V_{in} = V_{mic} \cdot R_{in} / ((R_{in} + R_f) \cdot (1 + (R_{in} \cdot R_f) / (Z_c \cdot (R_{in} + R_f))))$$

$$V_{in} = V_{mic} \cdot R_{in} / (R_{in} + R_f + (R_{in} \cdot R_f) / Z_c)$$

$$V_{in} = V_{mic} / (1 + R_f / R_{in} + R_f / Z_{cf})$$

$$\mathbf{V_{in} = V_{mic} / (1 + R_f / R_{in} + j \cdot C_f \cdot R_f \cdot \omega)}$$

Conclusion :

$$V_{out} = K \cdot V_{in} = K \cdot V_{mic} / (1 + R_f / R_{in} + j \cdot C_f \cdot R_f \cdot \omega)$$

$$\mathbf{V_{out}/V_{mic} = K / (1 + R_f / R_{in} + j \cdot C_f \cdot R_f \cdot \omega)}$$

### 5.7 Tracer le diagramme de Bode de $V_{out}/V_{mic}$ .

$$V_{out}/V_{mic} = K / (1 + R_f / R_{in} + j.C_f.R_f.\omega)$$

$$V_{out}/V_{mic} = K / (1 + R_f / R_{in}) \cdot 1 / (1 + j.C_f.R_f.\omega / (1 + R_f / R_{in}))$$

Se décompose en deux fonctions de Bode simple :

- $1 / (1 + j.\omega/\omega_0)$  avec  $\omega_0 = (1 + R_f / R_{in}) / (C_f \cdot R_f)$
- $A = K / (1 + R_f/R_{in})$

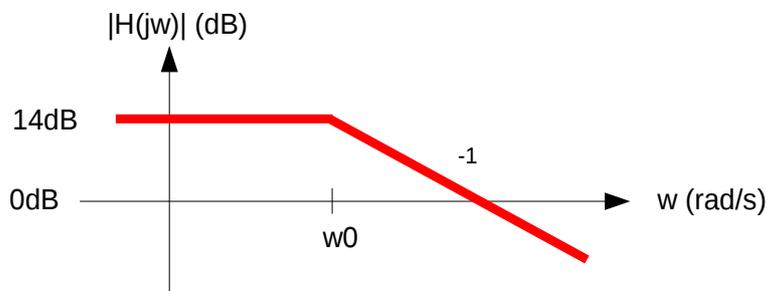
Avec :

$$\omega_0 = (1 + 10k / 10k) / (10n \cdot 10k) = 2 / 100\mu = 2 / 10^{-4} = 2 \cdot 10^4 = 20k \text{ rad/s}$$

$$A = 10 / (1 + 10k / 10k) = 10 / 2 = 5$$

$$20.\log(A) = 20.\log(10/2) = 20.\log(10) - 20.\log(2) = 20.1 - 20.0,3 = 14\text{dB}$$

Donc le diagramme de Bode est le suivant :



### 5.9 Quel est le type de filtrage réalisé ? Quelle est sa fréquence de coupure (vérifiez qu'elle est cohérente avec une application audio) ?

C'est un filtre passe-bas.

La fréquence de coupure est  $\omega_0 / 2\pi = 20\text{kHz} / 2\pi \approx 3\text{kHz}$ .

C'est donc bien une fréquence de coupure adaptée aux fréquences audio (qui sont comprises entre 20Hz - 20kHz)

## 6. Questions sur l'AOP (2 pts, objectif de temps : ~5min)

### 6.1 Combien vaut la résistance d'entrée d'un AOP ?

Elle est très grande. Idéalement, elle est infinie.

### 6.2 Quand l'AOP fonctionne en régime linéaire, que peut-on dire de sa tension d'entrée et de son courant d'entrée ?

Elle est très faible. Idéalement, elle est nulle.

### 6.3 Citez deux avantages des filtres actifs.

Les filtres actifs :

- permettent d'amplifier tout en filtrant (ou de filtrer tout en amplifiant)
- permettent de réaliser des filtres complexes
- permettent de réaliser des filtres qui ont une impédance d'entrée très élevée (ce qui permet de ne pas perturber la tension fournie par la source, quelle que soit sa résistance de Thévenin)
- permettent de réaliser des filtres qui ont une impédance de sortie très faible (ce qui permet d'avoir une tension de sortie qui ne dépend pas de la résistance de charge en sortie)

**7. Questions subsidiaires non obligatoires (0 pts, objectif de temps : <1min)**

**6.1 En longueur, ce DE était :**

- b) normal
- c) long pour vraiment tout faire

**6.2 En difficulté, ce DE était :**

- a) correct pour viser entre 10 et 13
- b) dur pour viser plus de 15
- c) très dur pour tenter d'avoir plus de 20

**6.3 Quelle note pensez-vous avoir ?**

En tout cas ce corrigé mériterait bien son 22/20 !  
:-)