

Module :

diagrammes de Bode



► Diaporama : les diagrammes de Bode

► Résumé de cours

Guide pour le tracé d'un diagramme de Bode

► Exercices d'apprentissage

- Mesures de gain et de phase (diapo 1)
- Voltmètre, dBm et gain (diapo 3)
- Courbe de gain et analyseur de spectre (diapo 5)
- Diagrammes asymptotiques (diapo 9)
- Diagrammes asymptotiques (diapo 10)
- Les cassures (diapo 11)
- Caractérisation des cassures (diapos 12-13)
- Transmittance en BF (diapos 14 à 17)
- Tracés de diagramme de Bode (diapo 18)

► Questionnaire : les diagrammes de Bode en questions



Guide pour le tracé des diagrammes de Bode

⇒ **étape 1** : mettre la transmittance $\underline{I}(j\omega)$ sous forme standard en faisant apparaître au numérateur et au dénominateur un produit de termes de la forme :

Termes de la transmittance	K (au numérateur uniquement)	$j\frac{\omega}{\omega_0}$	$1+j\frac{\omega}{\omega_0}$	$1+2mj\frac{\omega}{\omega_0}-\frac{\omega^2}{\omega_0^2}$
Appellation	gain	dérivateur (au numérateur) intégrateur (au dénominateur)	1 ^{er} ordre	2 ^{ème} ordre

Remarque : ne pas oublier de vérifier si les fonctions du 2^{ème} ordre peuvent être factorisées (si $m>1$)

⇒ **étape 2** : chercher l'expression de la transmittance $\underline{I}_{BF}(j\omega)$ aux basses fréquences en faisant $\omega \rightarrow 0$

Règles d'approximation	K gardé	$j\frac{\omega}{\omega_0}$ gardé	$1+j\frac{\omega}{\omega_0}$ remplacé par 1	$1+2mj\frac{\omega}{\omega_0}-\frac{\omega^2}{\omega_0^2}$ remplacé par 1
-------------------------------	-----------	----------------------------------	---	---

⇒ **étape 3** : tracer le diagramme de Bode asymptotique de $\underline{I}_{BF}(j\omega)$ qui est le début du diagramme de $\underline{I}(j\omega)$

Transmittance aux BF	si $\underline{T}_{BF}(j\omega)=K$	si $\underline{T}_{BF}(j\omega)=j\frac{\omega}{\omega_0}$	si $\underline{T}_{BF}(j\omega)=\frac{1}{j\frac{\omega}{\omega_0}}$
Courbe de gain	Horizontale $20\log(K)$	Pente +20dB/décade Passe par 0dB à $\omega = \omega_0$	Pente -20dB/décade Passe par 0dB à $\omega = \omega_0$
Courbe de phase	Horizontale 0 si K positif, -180 si K négatif	Horizontale, +90 degrés	Horizontale, -90 degrés

⇒ **étape 4** : terminer le diagramme asymptotique de $\underline{I}(j\omega)$ en plaçant les cassures des fonctions du 1^{er} et 2^{ème} ordre du numérateur et du dénominateur

Fonction	$1+j\frac{\omega}{\omega_0}$	$1+2mj\frac{\omega}{\omega_0}-\frac{\omega^2}{\omega_0^2}$
Au numérateur	Cassure simple vers le haut à $\omega = \omega_0$ Rotation de phase de +90 degrés	Cassure double vers le haut à $\omega = \omega_0$ Rotation de phase de +180 degrés
Au dénominateur	Cassure simple vers le bas à $\omega = \omega_0$ Rotation de phase de -90 degrés	Cassure double vers le bas à $\omega = \omega_0$ Rotation de phase de -180 degrés

⇒ **étape 5** : tracer les courbes de gain et de phase réelles

Fonction	$1+j\frac{\omega}{\omega_0}$	$1+2mj\frac{\omega}{\omega_0}-\frac{\omega^2}{\omega_0^2}$
Courbe réelle de gain	Passe à ± 3 dB de la cassure	Calculer le gain à la cassure ($\omega = \omega_0$) et placer le point
Courbe réelle de phase	Passe à ± 45 degrés	Passe à ± 90 degrés

⇒ **c'est terminé !**

Exercices d'application



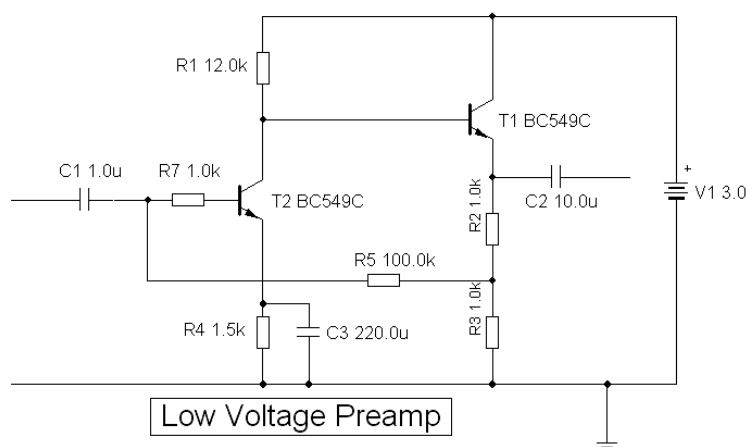
jean-philippe muller

BOD01-Mesures de gain et de phase (diapo 1)

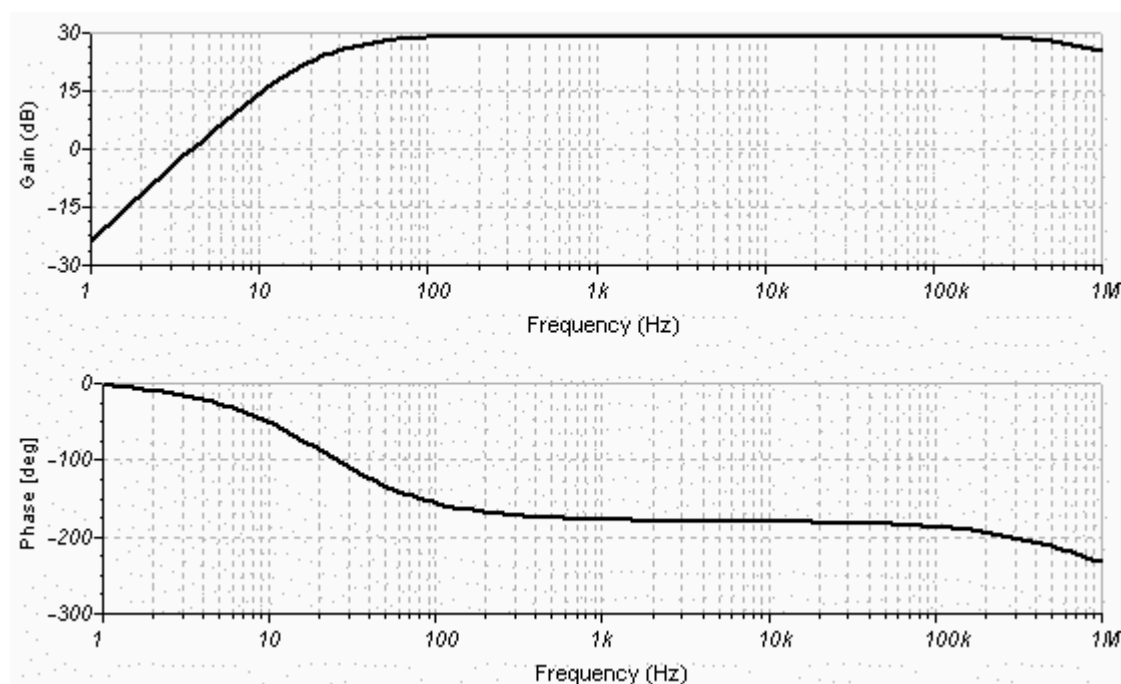


comprendre les liens qui existent entre courbe de gain et courbe de phase

Un préamplificateur, conçu pour être alimenté par une tension faible (3V), a le schéma structurel suivant :



Son diagramme de Bode est le suivant :



Pour ce préamplificateur :

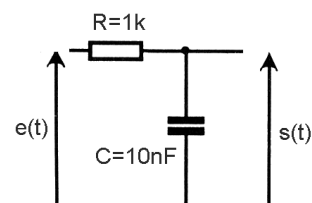
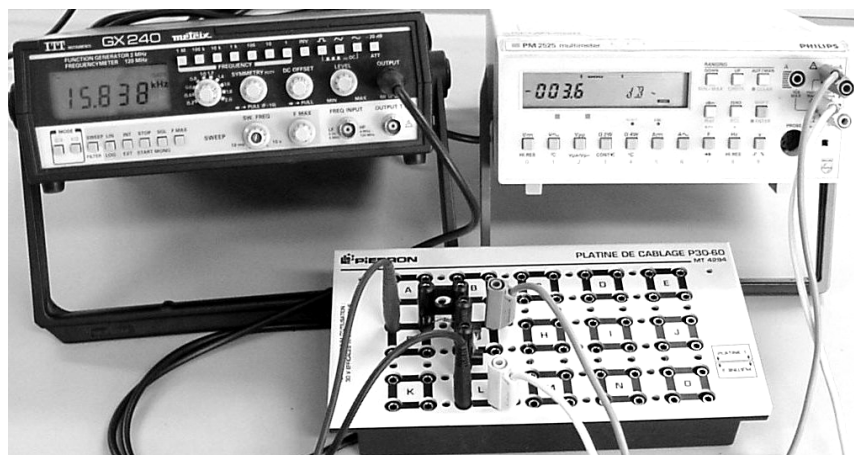
- la fréquence de coupure basse est : $f_b =$
- la fréquence de coupure haute est : $f_h =$
- le gain dans la bande passante vaut : $G_0 =$
- l'amplification dans la bande passante vaut : $A_{v0} =$
- a 10 Hz, l'amplificateur introduit un déphasage de : $\varphi =$
- si $e(t) = 0,02 \cdot \cos(2\pi 5000t)$, la sortie s'écrit : $s(t) =$

BOD02-Voltmètre, dBm et gain (diapo 3)



comprendre comment on relève une courbe de gain au voltmètre numérique

On étudie un filtre RC passe-bas à l'aide d'un générateur BF et d'un voltmètre numérique :



Les mesures sont faites dans les conditions suivantes :

- le générateur basse-fréquence fournit à sa sortie un signal sinusoïdal de valeur efficace 1V
- le voltmètre en position « dB » convertit le niveau du signal en dBm sur 600 Ω

1) Lorsque le voltmètre mesure $e(t)$, quelle valeur E_{dBm} affiche-t-il ?

2) Donner l'expression de la transmittance complexe $\underline{I}(j\omega)$ du filtre en fonction de R, C et ω , puis exprimer son module.

3) Calculer le module de la transmittance à la fréquence de $f = 15,838$ kHz affichée par le GBF.

4) En déduire la valeur efficace de la tension de sortie S, puis la valeur S_{dBm} affichée par le voltmètre relié à la sortie.

5) En mettant le niveau d'entrée E_{dBm} en mémoire (touche « zéro »), le voltmètre affiche le gain $G = S_{dBm} - E_{dBm}$. Quelle valeur devrait afficher le voltmètre sur la photo ? Comment peut-on expliquer le léger écart observé ?

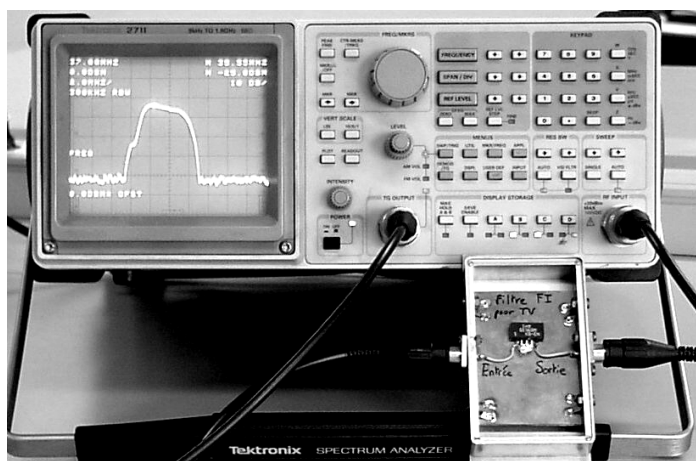
BOD03-Courbe de gain et analyseur de spectre (diapo 5)



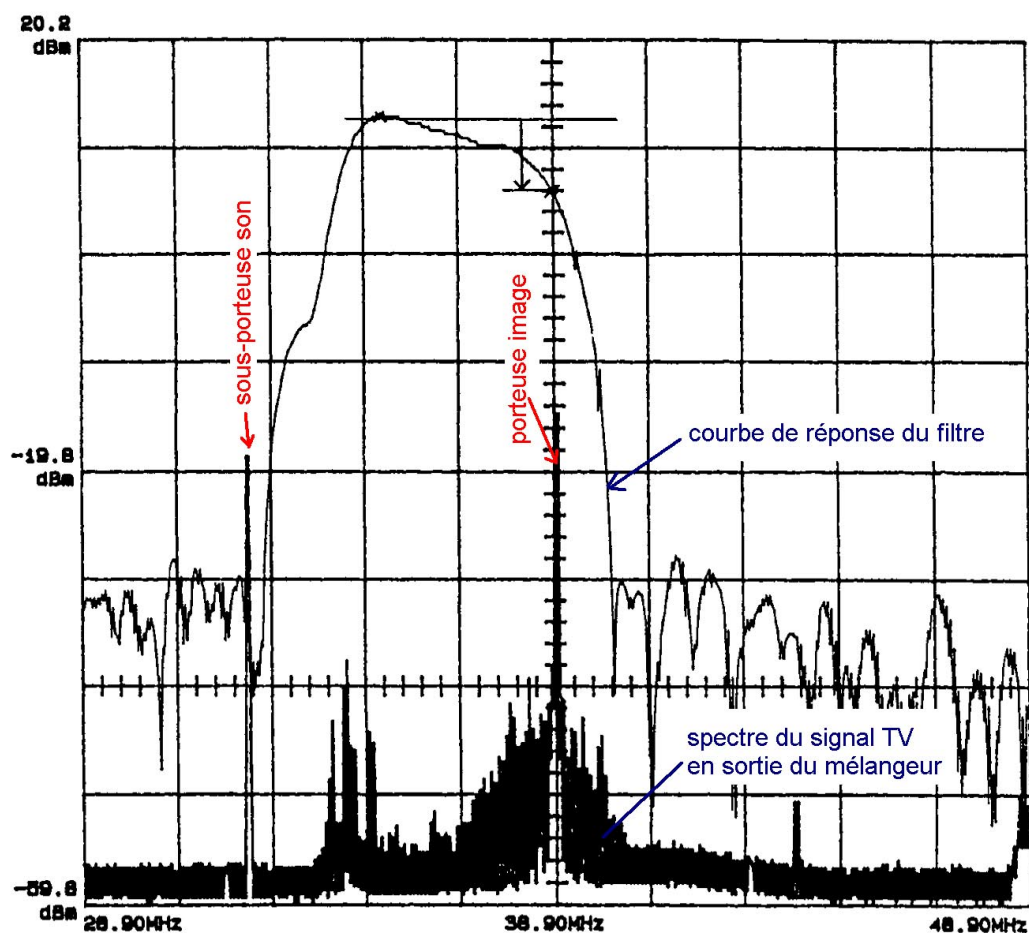
comprendre comment on peut tracer les courbes de gain à l'analyseur de spectre

Un filtre FI pour l'étage « image » de la télévision a été testé au moyen d'un analyseur de spectre équipé d'un générateur suiveur (ou de tracking) :

- branchement illustré sur la photo ci-contre
- niveau de sortie du suiveur : 20 dBm.
- échelles : $f_{centrale} = 38,9 \text{ MHz}$ - span 2 MHz/div



La courbe donnant le niveau du signal de sortie du filtre en fonction de la fréquence est alors la suivante :



En s'aidant du spectre du signal TV après le mélangeur superposé à la courbe de réponse, déterminer :

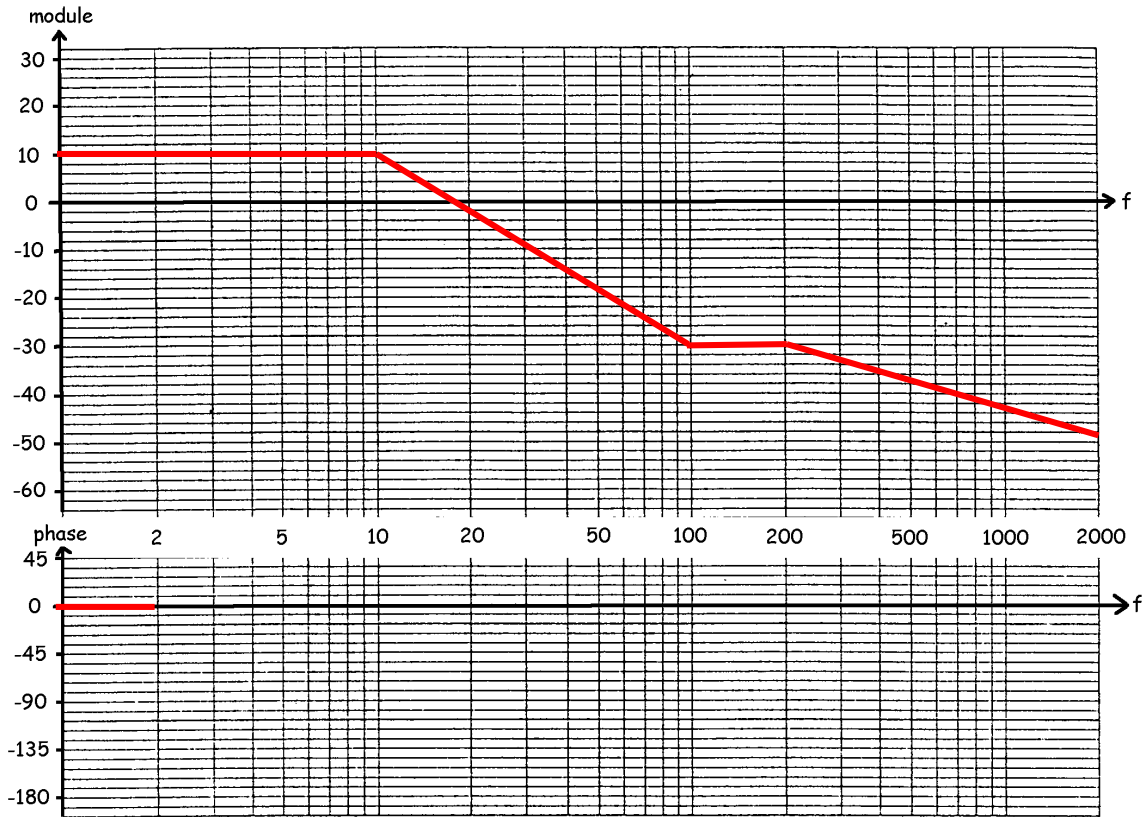
- la fréquence où l'atténuation du filtre est minimale, et la valeur de cette atténuation : $A_{\text{mini}} =$
- l'atténuation du filtre pour la porteuse image : $A_{\text{image}} =$
- l'atténuation du filtre pour la sous-porteuse son $A_{\text{son}} =$
- l'atténuation minimale « hors-bande passante » $A_{\text{hors-bande}} >$

BOD04-Diagrammes asymptotiques (diapo 9)

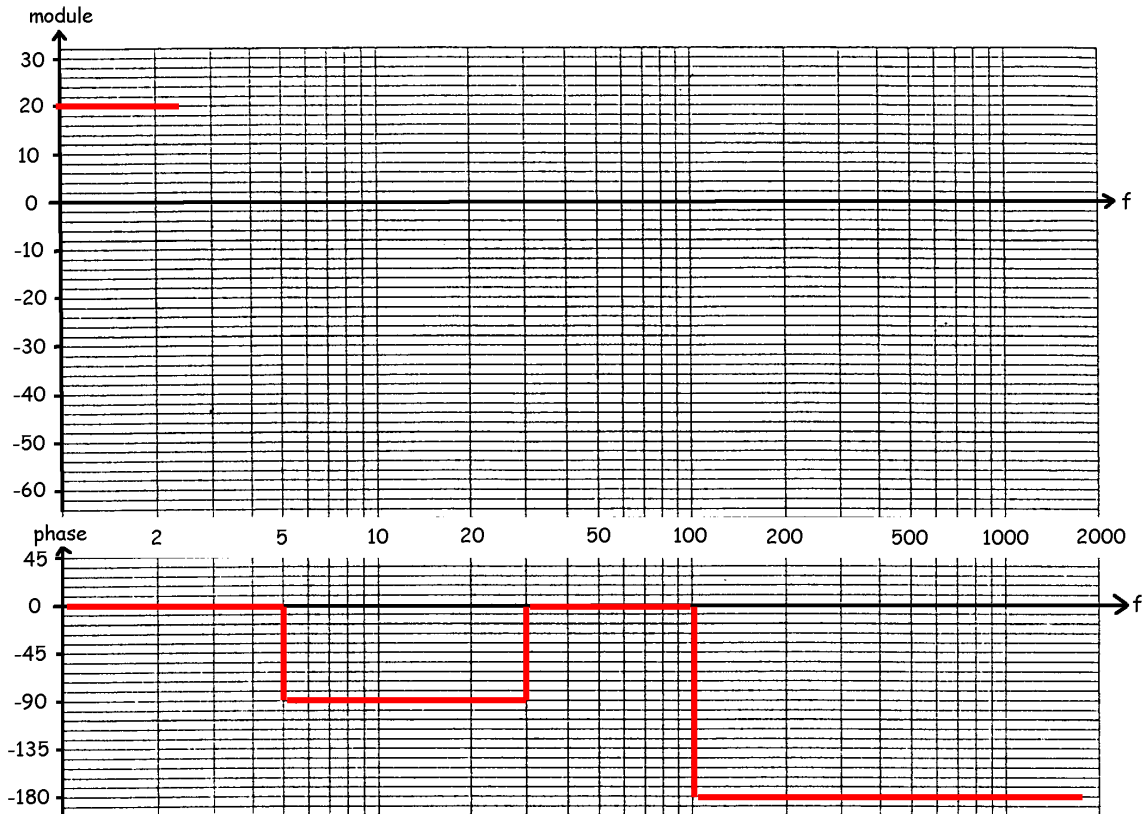


comprendre les liens qui existent entre courbe de gain et courbe de phase

On donne la courbe de gain asymptotique, tracer la courbe de phase asymptotique.



On donne la courbe de phase asymptotique, tracer la courbe de gain asymptotique.



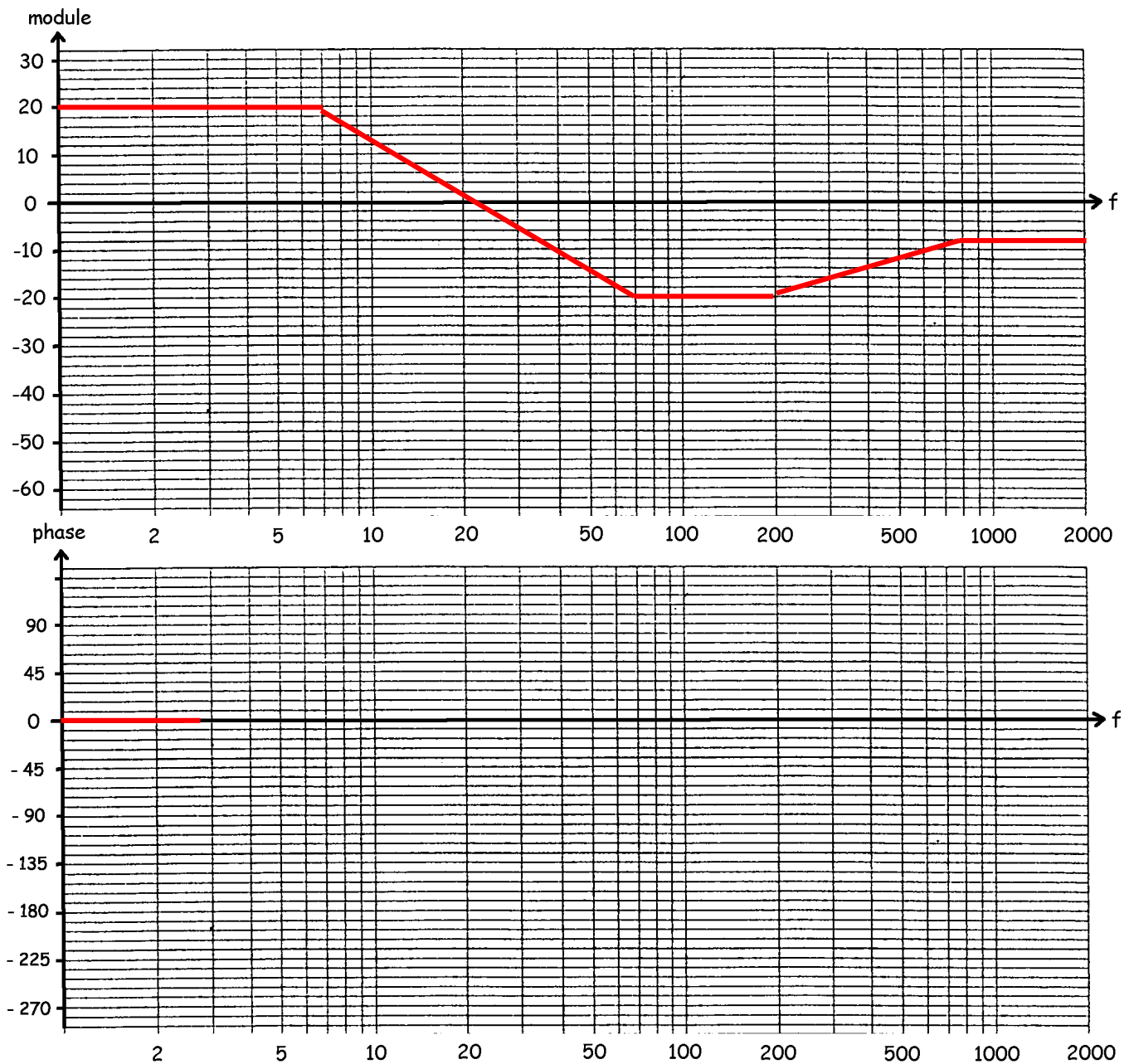
BOD05-Diagrammes asymptotiques (diapo 10)



savoir tracer les courbes réelles à partir des diagrammes asymptotiques

On donne la courbe de gain asymptotique du diagramme de Bode d'un système.

Tracer la courbe de phase asymptotique, puis les courbes de gain et de phase réelles sachant qu'à la première cassure du second ordre la courbe réelle passe à 8 dB au-dessus de la cassure et à la deuxième à 4 dB en-dessous de la cassure.



BOD06-Les cassures (diapo 11)



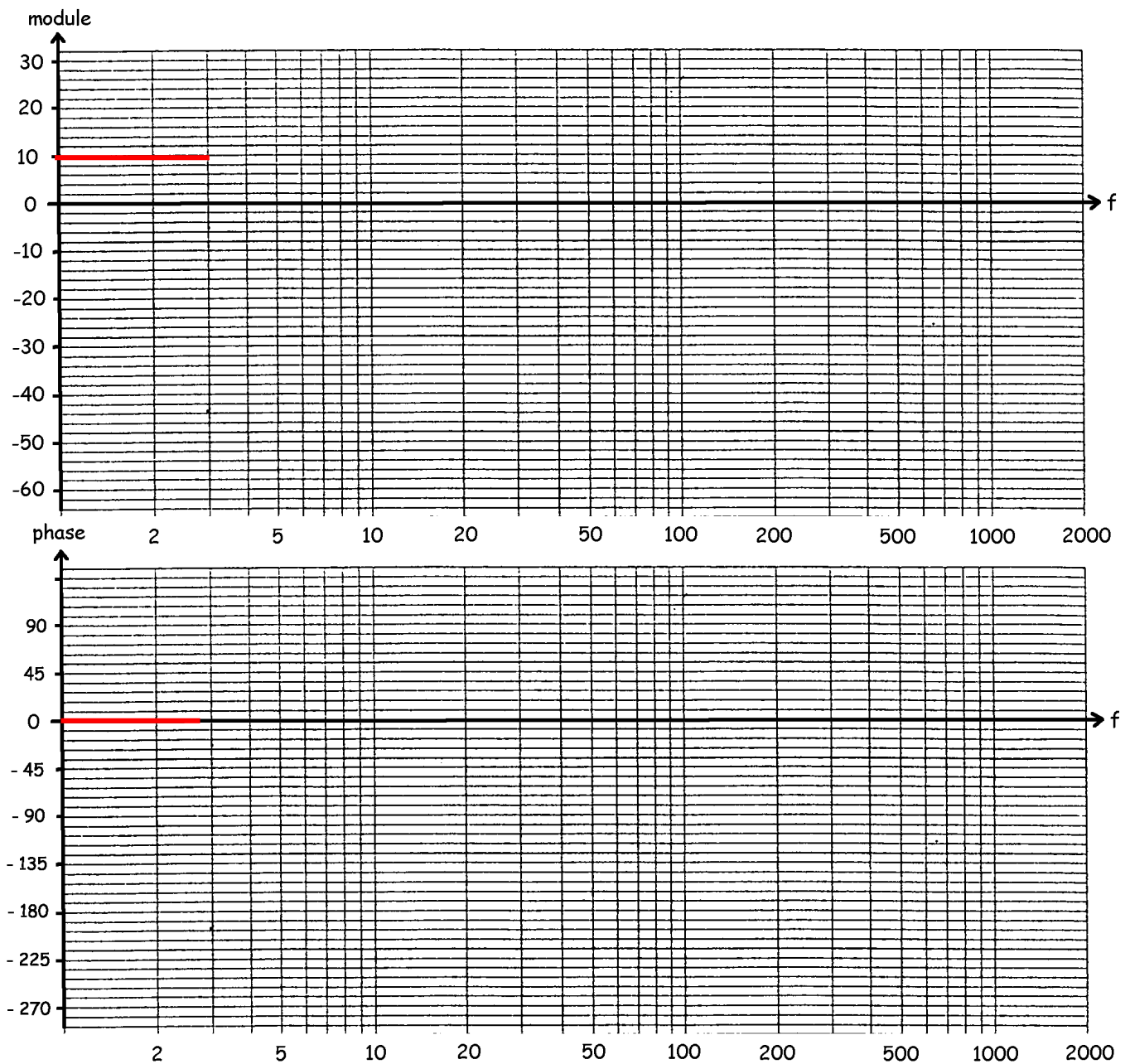
savoir tracer un diagramme asymptotique à partir de la liste des cassures

A- Le diagramme de Bode d'un système démarre avec un gain de 10 dB et une phase nulle.

Ce diagramme présente les cassures suivantes :

- cassure du premier ordre vers le haut à $f = 10$ Hz
- cassure du second ordre vers le bas à $f = 80$ Hz
- cassure du premier ordre vers le bas à $f = 800$ Hz

Tracer les courbes de gain et de phase asymptotiques.

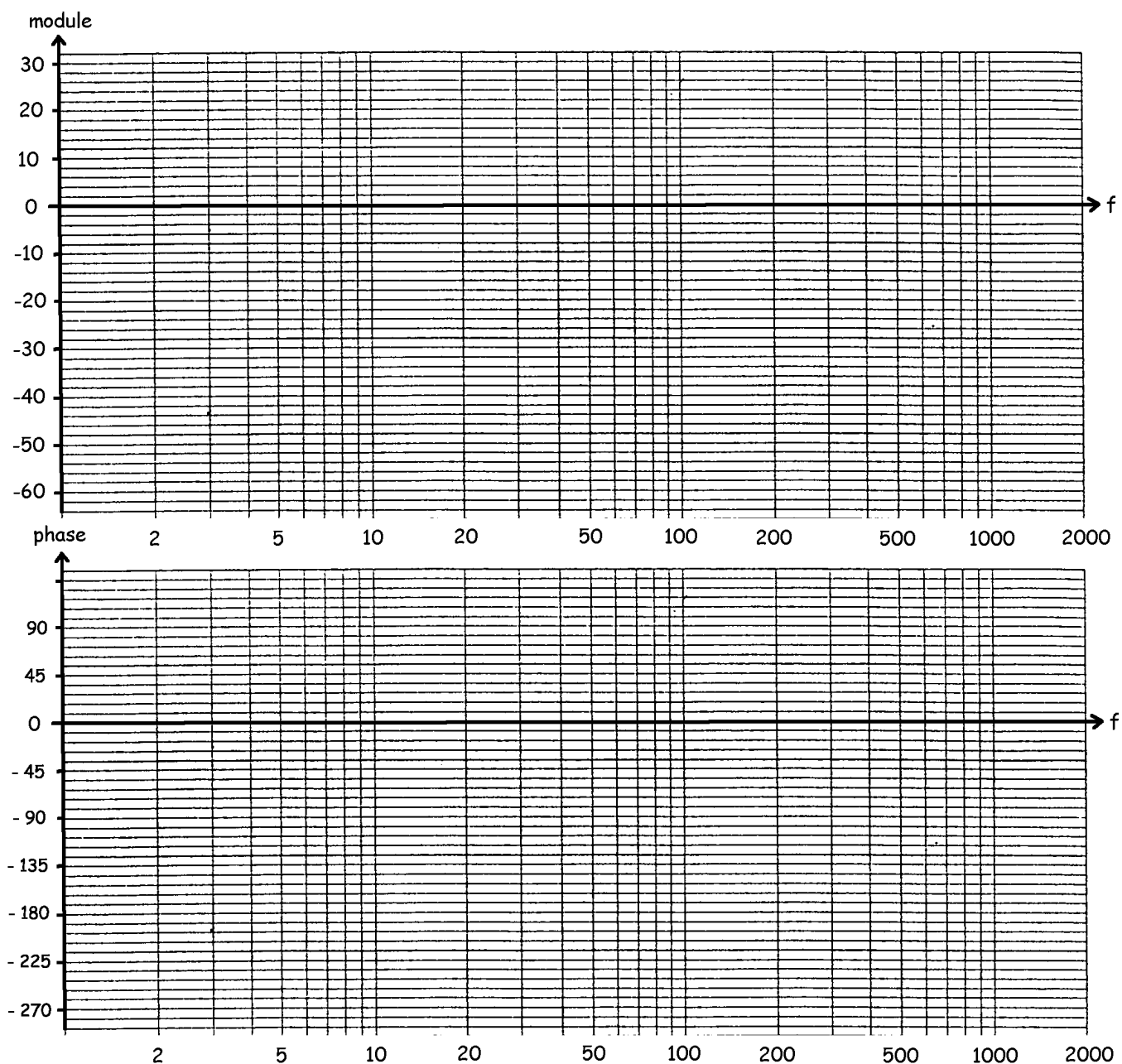


B- Le diagramme de Bode d'un système démarre avec une pente de + 20 dB/dec et passe à 0 dB à $f = 3$ Hz.

Ce diagramme présente les cassures suivantes :

- cassure du premier ordre vers le bas à $f = 20$ Hz
- cassure du second ordre vers le bas à $f = 100$ Hz
- cassure du premier ordre vers le bas à $f = 600$ Hz

Tracer les courbes de gain et de phase asymptotiques.



BOD07-Caractérisation des cassures (diapos 12 et 13)



savoir trouver les cassures à partir de la transmittance

Pour les transmittances suivantes, trouver la fréquence et le type des cassures :

$$\underline{T}(jf) = \frac{50(1 + j\frac{f}{20})}{jf(1 + j\frac{f}{500})}$$

- première cassure à : $f =$ Hz
- vers le haut, vers le bas, du premier ordre, du second ordre
- la rotation de phase est de $-180, -90, +90, +180$ degrés
- deuxième cassure à : $f =$ Hz
- vers le haut, vers le bas, du premier ordre, du second ordre
- la rotation de phase est de $-180, -90, +90, +180$ degrés
- troisième cassure à : $f =$ Hz
- vers le haut, vers le bas, du premier ordre, du second ordre
- la rotation de phase est de $-180, -90, +90, +180$ degrés

$$\underline{T}(jf) = \frac{200 + j0,4f}{10 + jf}$$

- première cassure à : $f =$ Hz
- vers le haut, vers le bas, du premier ordre, du second ordre
- la rotation de phase est de $-180, -90, +90, +180$ degrés
- deuxième cassure à : $f =$ Hz
- vers le haut, vers le bas, du premier ordre, du second ordre
- la rotation de phase est de $-180, -90, +90, +180$ degrés
- troisième cassure à : $f =$ Hz
- vers le haut, vers le bas, du premier ordre, du second ordre
- la rotation de phase est de $-180, -90, +90, +180$ degrés

$$\underline{T}(jf) = \frac{20jf}{2500 + 20jf - f^2}$$

- première cassure à : $f =$ Hz
- vers le haut, vers le bas, du premier ordre, du second ordre
- la rotation de phase est de $-180, -90, +90, +180$ degrés
- deuxième cassure à : $f =$ Hz
- vers le haut, vers le bas, du premier ordre, du second ordre
- la rotation de phase est de $-180, -90, +90, +180$ degrés
- troisième cassure à : $f =$ Hz
- vers le haut, vers le bas, du premier ordre, du second ordre
- la rotation de phase est de $-180, -90, +90, +180$ degrés

$$\underline{T}(jf) = 6 \frac{5 + jf}{(20 + jf)(1 + \frac{jf}{100})}$$

- première cassure à : $f =$ Hz
- vers le haut, vers le bas, du premier ordre, du second ordre
- la rotation de phase est de $-180, -90, +90, +180$ degrés
- deuxième cassure à : $f =$ Hz
- vers le haut, vers le bas, du premier ordre, du second ordre
- la rotation de phase est de $-180, -90, +90, +180$ degrés
- troisième cassure à : $f =$ Hz
- vers le haut, vers le bas, du premier ordre, du second ordre
- la rotation de phase est de $-180, -90, +90, +180$ degrés

BOD08-Transmittance en BF (diapos 14 à 17)



savoir trouver la transmittance équivalente aux basses fréquences pour tracer le début du diagramme de Bode

Pour les transmittances suivantes, trouver la transmittance équivalente aux basses-fréquences et dessiner les courbes de gain et de phase asymptotiques aux basses-fréquences.

$$\underline{T}(jf) = \frac{200 + j0,4f}{10 + jf}$$

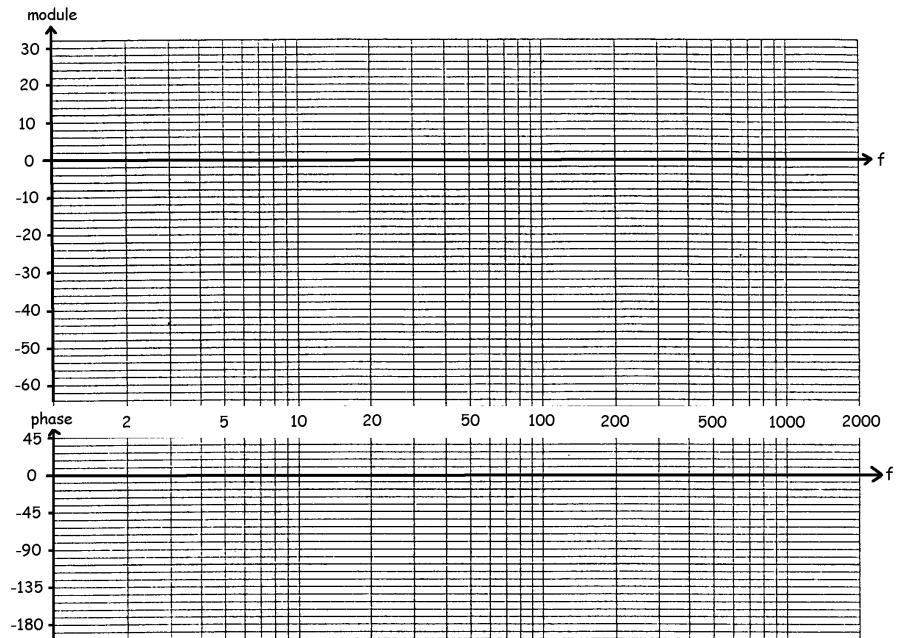
$$\underline{T}_{BF}(jf) \approx$$

La courbe de gain :

- est horizontale
- monte à 20 dB/dec
- monte à 40 dB/dec
- descend à -20dB/dec
- descend à -40dB/dec

La phase vaut :

- -180 degrés
- -90 degrés
- 0 degré
- 90 degrés
- 180 degrés



$$\underline{T}(jf) = \frac{100000}{10000 + 50jf - f^2}$$

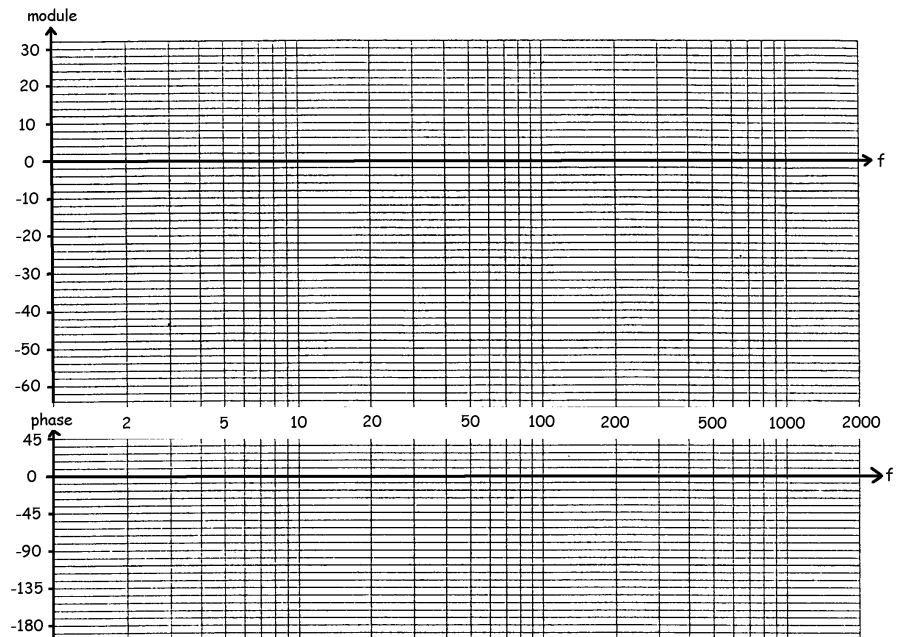
$$\underline{T}_{BF}(jf) \approx$$

La courbe de gain :

- est horizontale
- monte à 20 dB/dec
- monte à 40 dB/dec
- descend à -20dB/dec
- descend à -40dB/dec

La phase vaut :

- -180 degrés
- -90 degrés
- 0 degré
- 90 degrés
- 180 degrés



$$\underline{T}(jf) = \frac{50(1 + j\frac{f}{200})}{jf(1 + j\frac{f}{5000})}$$

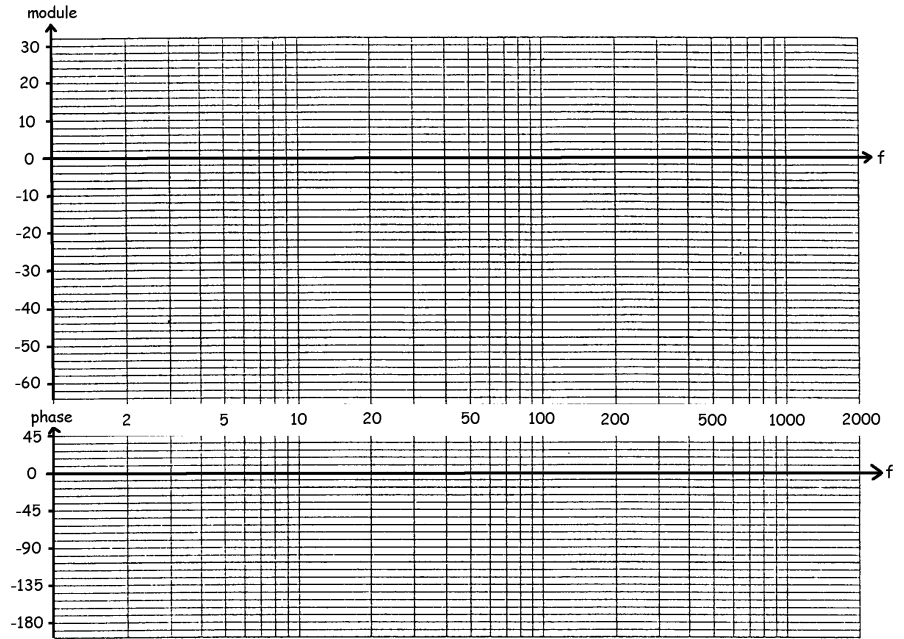
$$\underline{T}_{BF}(jf) \approx$$

La courbe de gain :

- est horizontale
- monte à 20 dB/dec
- monte à 40 dB/dec
- descend à -20dB/dec
- descend à -40dB/dec

La phase vaut :

- -180 degrés
- -90 degrés
- 0 degré
- 90 degrés
- 180 degrés



$$\underline{T}(jf) = \frac{20jf}{2500 + 20jf - f^2}$$

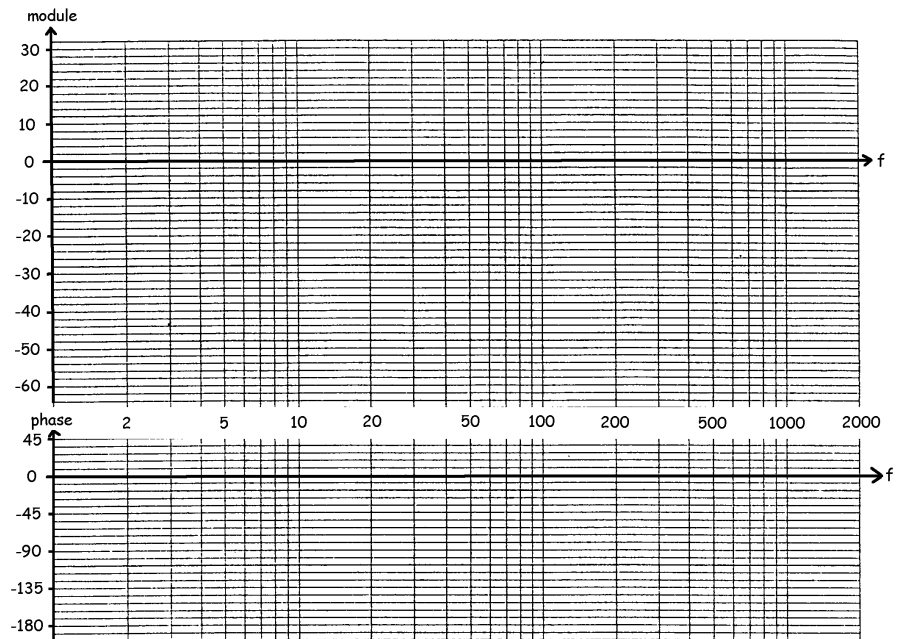
$$\underline{T}_{BF}(jf) \approx$$

La courbe de gain :

- est horizontale
- monte à 20 dB/dec
- monte à 40 dB/dec
- descend à -20dB/dec
- descend à -40dB/dec

La phase vaut :

- -180 degrés
- -90 degrés
- 0 degré
- 90 degrés
- 180 degrés



BOD09-Tracé du diagramme de Bode (diapo 18)



maîtriser les différentes étapes du tracé d'un diagramme de Bode

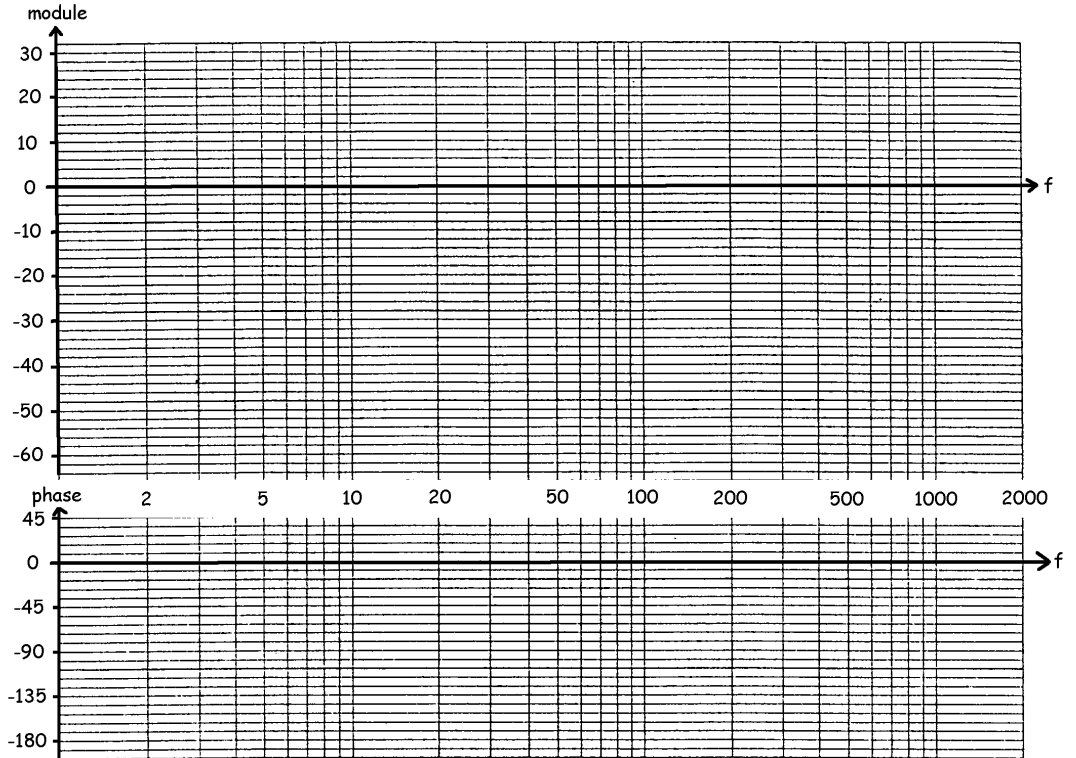
Mettre les transmittances suivantes sous la forme standard, trouver la transmittance équivalente aux basses-fréquences et les cassures, puis dessiner les courbes de gain et de phase asymptotiques et réelles.

$$\underline{T}(jf) = 2 \frac{2500 + j50f}{500 + jf}$$

$$\underline{T}(jf) =$$

$$\underline{T}_{BF}(jf) \approx$$

Cassures :

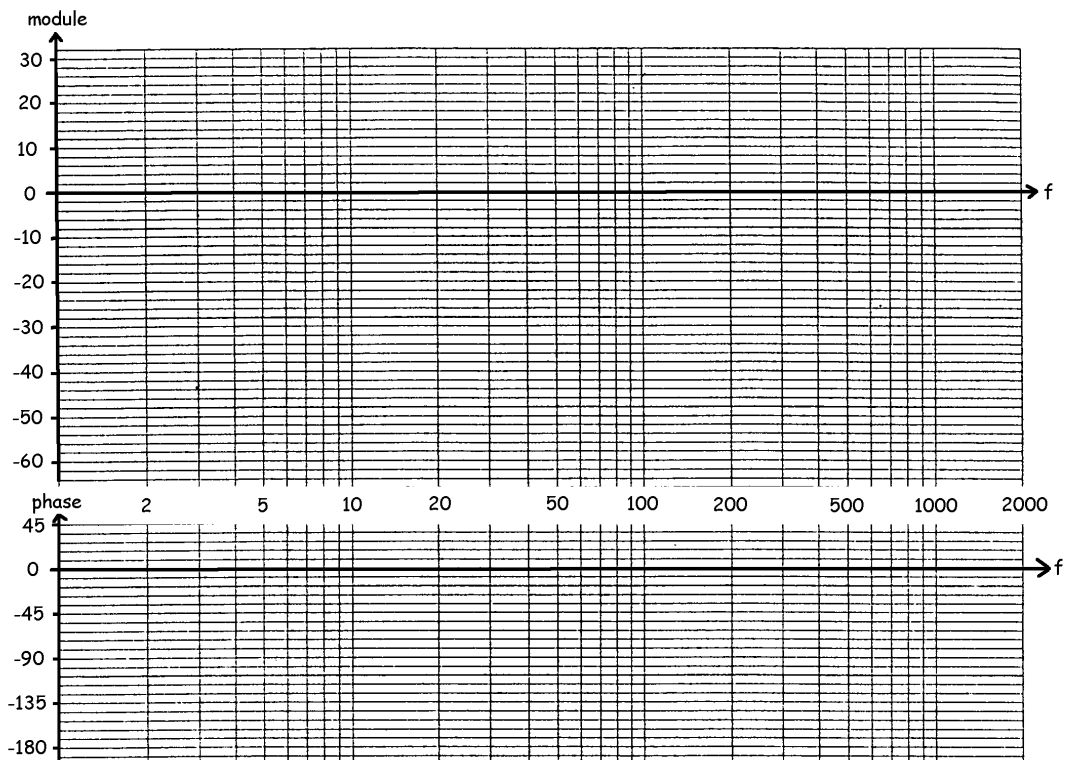


$$\underline{T}(jf) = \frac{10 + j\frac{f}{5}}{jf(1 + j\frac{f}{200})}$$

$$\underline{T}(jf) =$$

$$\underline{T}_{BF}(jf) \approx$$

Cassures :

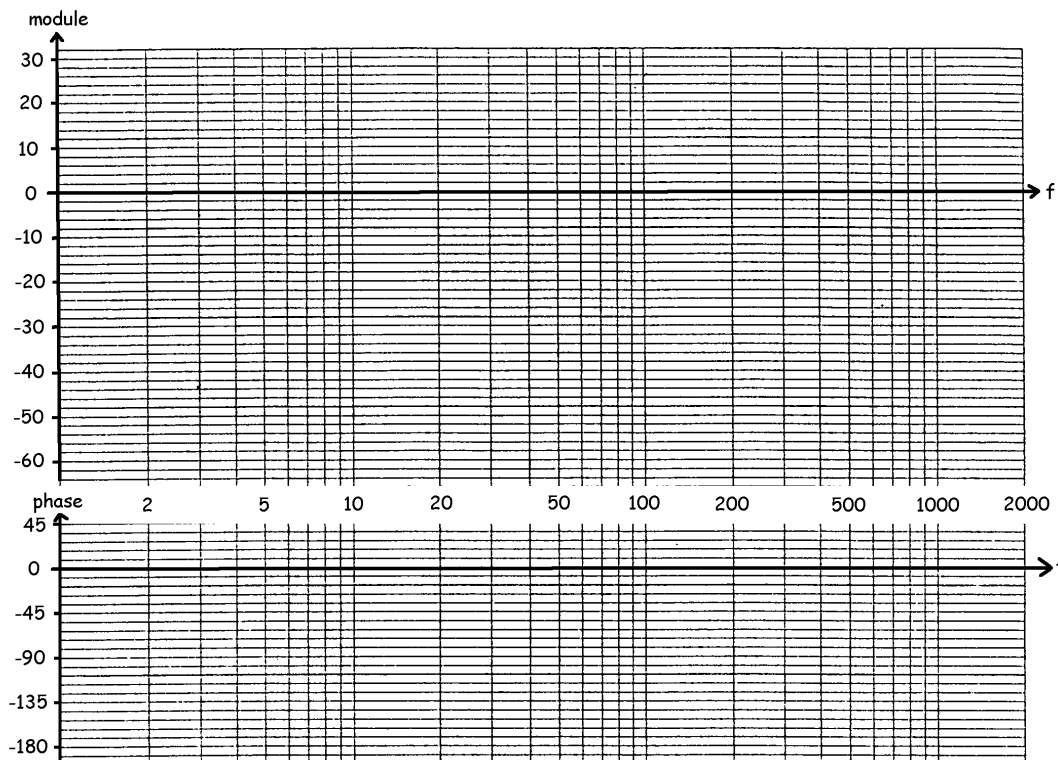


$$\underline{T}(jf) = \frac{j1600f}{(40+jf)(200+jf)}$$

$$\underline{T}(jf) =$$

$$\underline{T}_{BF}(jf) \approx$$

Cassures :

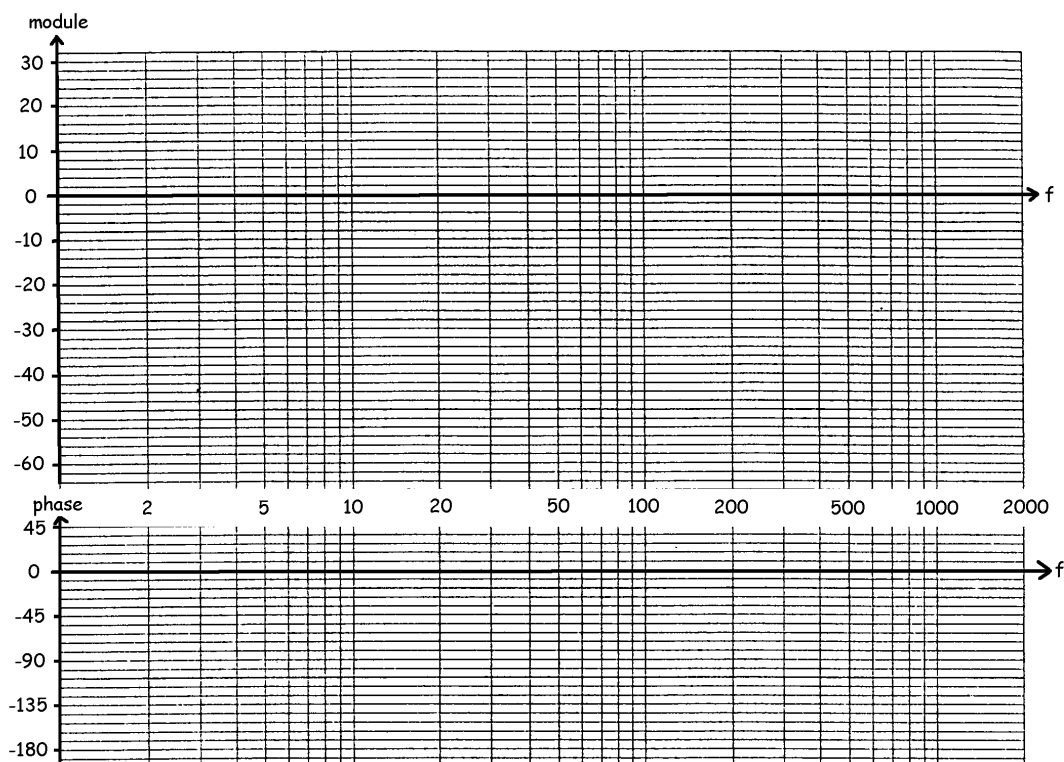


$$\underline{T}(jf) = \frac{800}{400+6jf-f^2}$$

$$\underline{T}(jf) =$$

$$\underline{T}_{BF}(jf) \approx$$

Cassures :



Remarque : pour préciser le tracé de la courbe réelle, on calculera le module de la transmittance à la cassure.

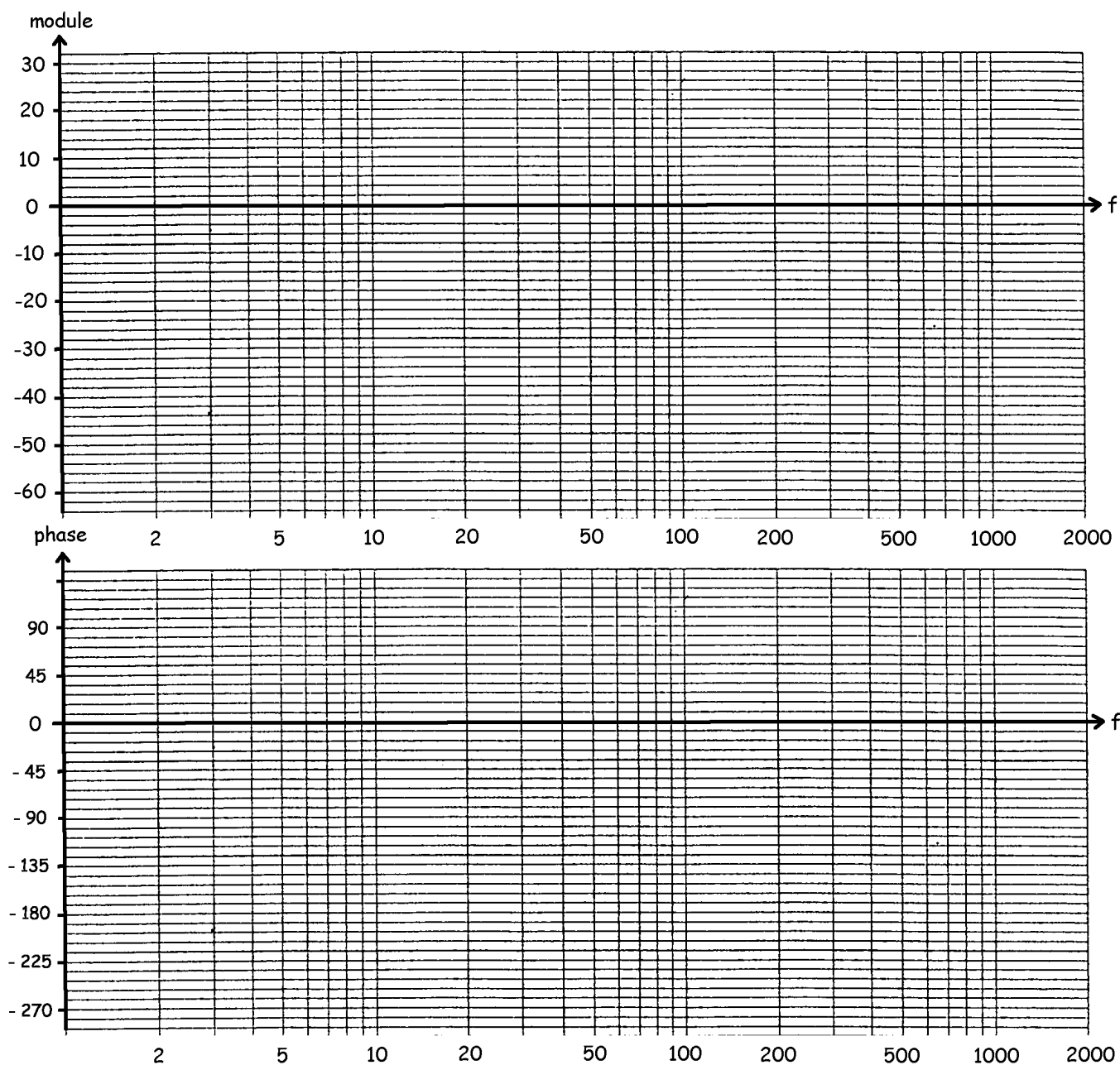
BOD10-Tracé du diagramme de Bode



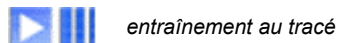
entraînement au tracé

$$\underline{T}(jf) = \frac{10(1 + j0,001f)}{1 + j0,05f}$$

Mettre sous la forme standard, en déduire la transmittance aux basses-fréquences, caractériser les cassures, tracer le diagramme asymptotique, calculer les points utiles et tracer le diagramme réel, établir les équations des 3 asymptotes, en déduire par un calcul simple le gain et la phase à 100 Hz.



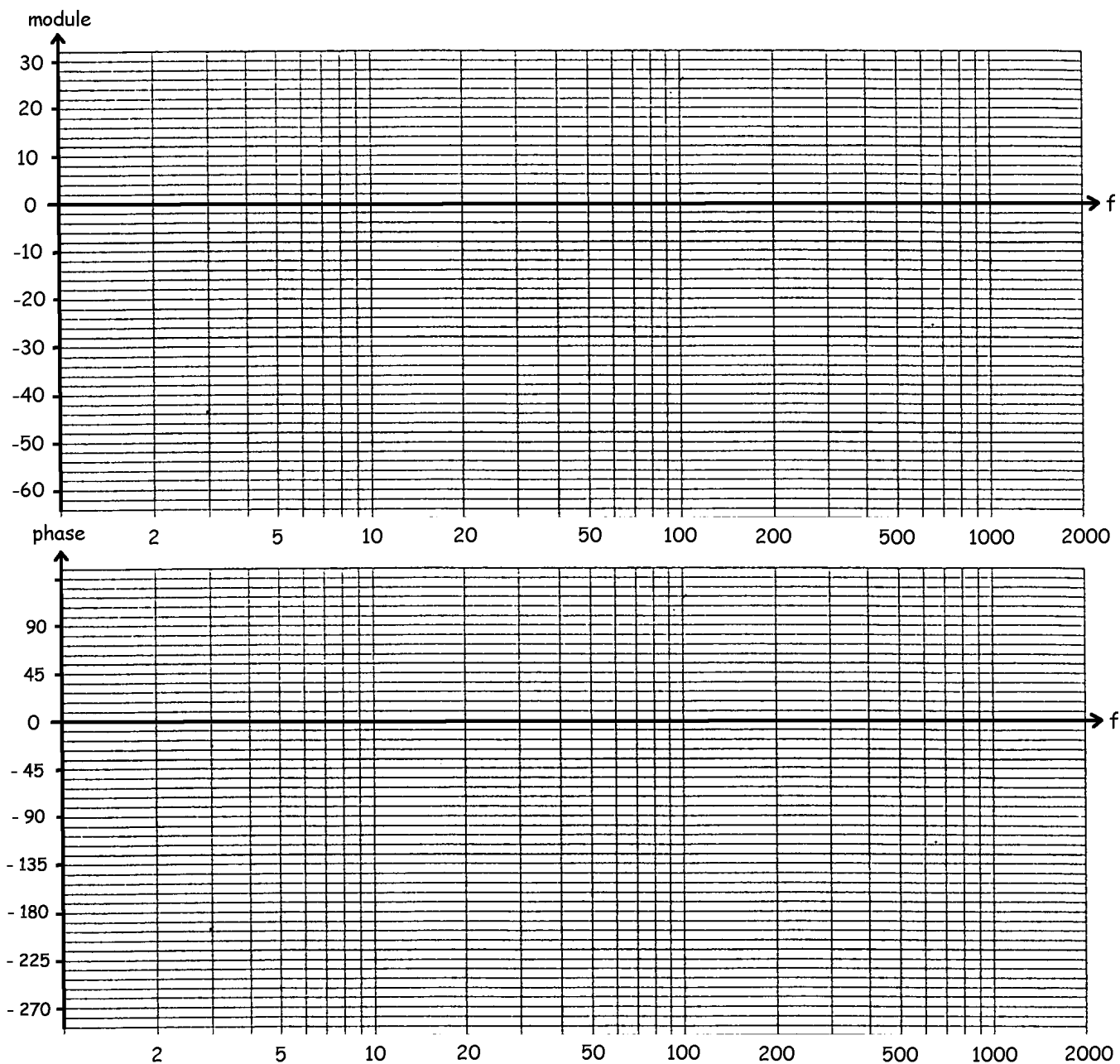
BOD11-Tracé du diagramme de Bode



entraînement au tracé

$$T(jf) = \frac{-100(50 + j2,5f)}{50 + jf}$$

Mettre sous la forme standard, en déduire la transmittance aux basses-fréquences, caractériser les cassures, tracer le diagramme asymptotique, calculer les points utiles et tracer le diagramme réel, établir les équations des 3 asymptotes, en déduire par un calcul simple le gain et la phase à 100 Hz.



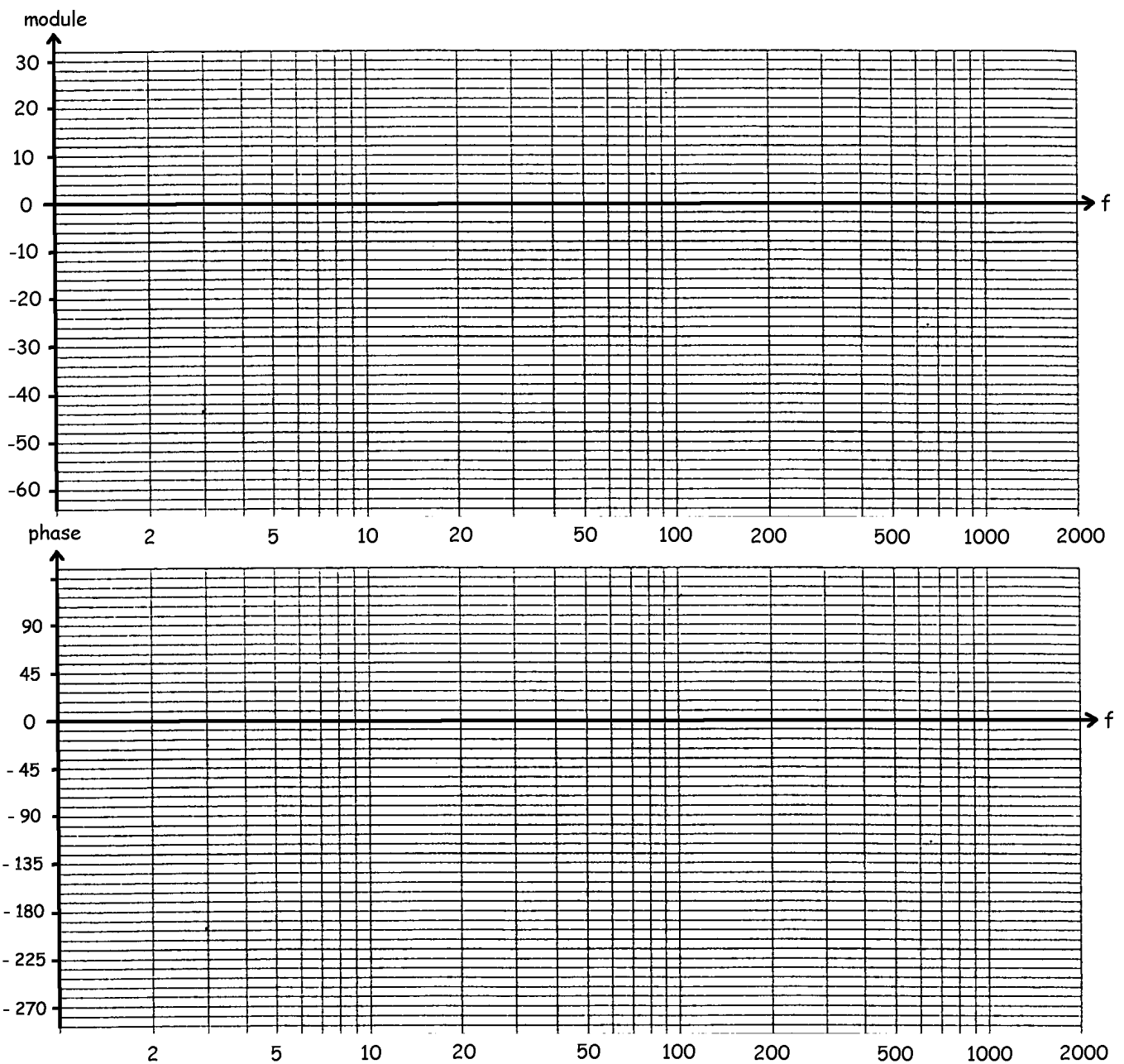
BOD12-Tracé du diagramme de Bode



entraînement au tracé

$$\underline{T}(jf) = \frac{-100(50 + j2,5f)}{f^2(50 + jf)}$$

Mettre sous la forme standard, en déduire la transmittance aux basses-fréquences, caractériser les cassures, tracer le diagramme asymptotique, calculer les points utiles et tracer le diagramme réel, établir les équations des 3 asymptotes, en déduire par un calcul simple le gain et la phase à 100 Hz.



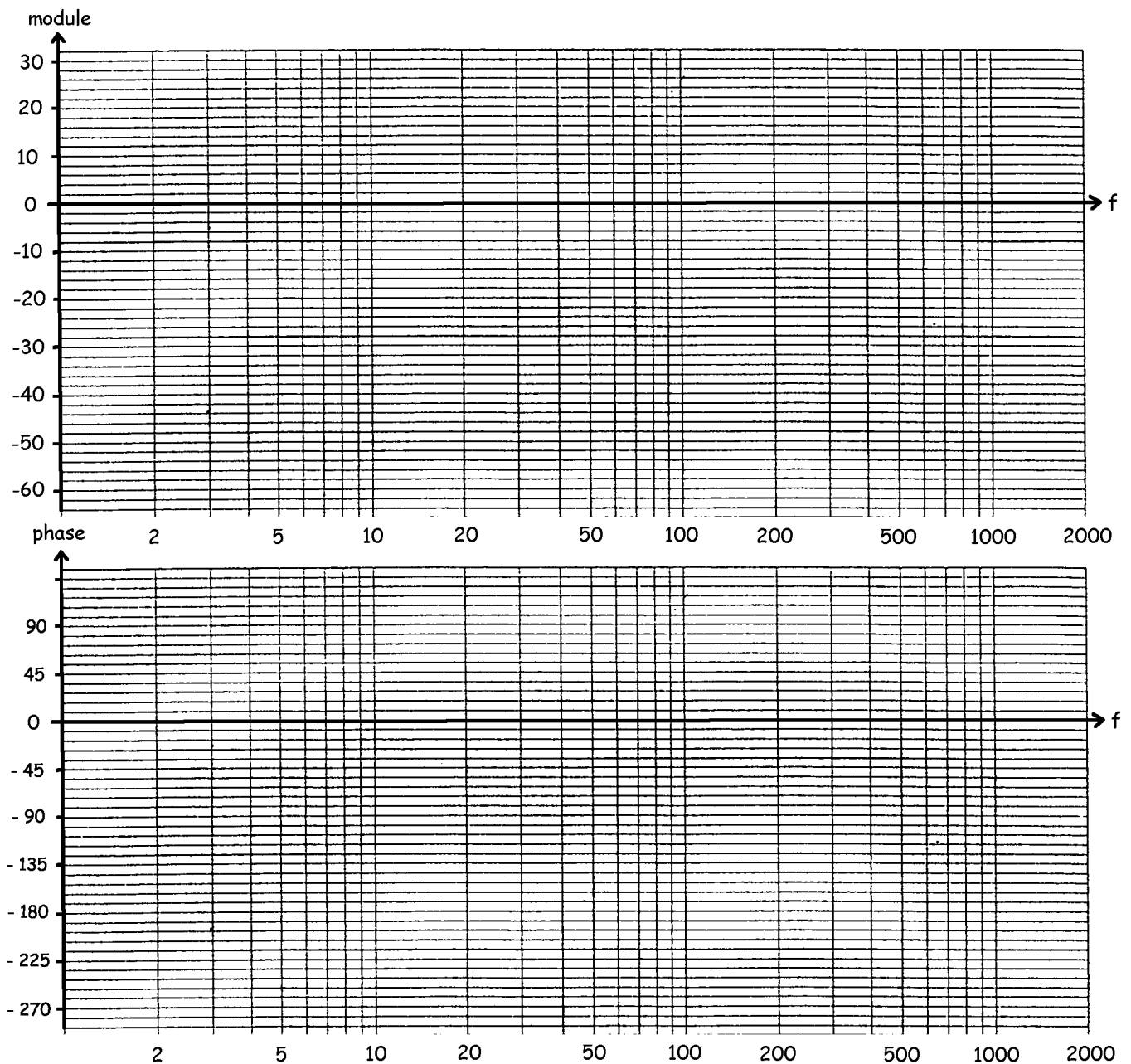
BOD013-Tracé du diagramme de Bode



entraînement au tracé

$$\underline{T}(jf) = \frac{10jf}{(10+jf)(1+0,6j\frac{f}{200}-\frac{f^2}{40000})}$$

Mettre sous la forme standard, en déduire la transmittance aux basses-fréquences, caractériser les cassures, tracer le diagramme asymptotique, calculer les points utiles et tracer le diagramme réel, établir les équations des 3 asymptotes, en déduire par un calcul simple le gain à 2 Hz et à 600 Hz.



Exercice BOD01 :

- la fréquence de coupure basse est : $f_b = 50 \text{ Hz}$
- la fréquence de coupure haute est : $f_h = 400 \text{ kHz}$
- le gain dans la bande passante vaut : $G_0 = 30 \text{ dB}$
- l'amplification dans la bande passante vaut : $A_{v0} = 31,6$
- a 10 Hz, l'amplificateur introduit un déphasage de : $\varphi = -50^\circ$
- si $e(t) = 0,02 \cdot \cos(2\pi 5000t)$, la sortie s'écrit : $s(t) = 0,63 \cos(2\pi 5000t - \pi)$

Exercice BOD02 :

1) $E_{dBm} = 2,2 \text{ dBm}$

2) $|T(j\omega)| = \frac{1}{\sqrt{1+R^2C^2\omega^2}}$

3) $T = 0,709$

4) $S_{dBm} = -0,77 \text{ dBm}$

5) $G = S - E = -3 \text{ dB}$

Exercice BOD03 :

- la fréquence où l'atténuation du filtre est minimale, et la valeur de cette atténuation : $A_{\text{mini}} = 7 \text{ dB}$
- l'atténuation du filtre pour la porteuse image : $A_{\text{image}} = 14 \text{ dB}$
- l'atténuation du filtre pour la sous-porteuse son $A_{\text{son}} = 60 \text{ dB}$
- l'atténuation minimale « hors-bande passante » $A_{\text{hors-bande}} > 48 \text{ dB}$

Exercice BOD04 :

- cassure du premier ordre vers le bas \Leftrightarrow rotation de phase de 90° vers le bas
- cassure du premier ordre vers le haut \Leftrightarrow rotation de phase de 90° vers le haut

Exercice BOD05 :

- pour un premier ordre, la courbe réelle passe à 3 dB des asymptotes à la cassure.
- pour un second ordre, la courbe réelle passe à x dB des asymptotes à la cassure (x dépend de m, à calculer)

Exercice BOD06 :

- cassure du premier ordre \Leftrightarrow la pente change de $\pm 20 \text{ dB}$
- cassure du second ordre \Leftrightarrow la pente change de $\pm 40 \text{ dB}$
- cassure au numérateur \Leftrightarrow la rupture de pente se fait vers le haut
- cassure au dénominateur \Leftrightarrow la rupture de pente se fait vers le bas

Exercice BOD07 :

$$\underline{T(jf)} = \frac{50(1+j\frac{f}{20})}{jf(1+j\frac{f}{500})}$$

- première cassure à : $f = 20 \text{ Hz}$
- vers le haut, du premier ordre
- la rotation de phase est de $+90$ degrés
- deuxième cassure à : $f = 500 \text{ Hz}$
- vers le bas, du premier ordre
- la rotation de phase est de -90 degrés

$$\underline{T(jf)} = \frac{200+j0,4f}{10+jf} = 20 \frac{1+j\frac{f}{500}}{1+j\frac{f}{10}}$$

- première cassure à : $f = 10 \text{ Hz}$
- vers le bas, du premier ordre
- la rotation de phase est de -90 degrés
- deuxième cassure à : $f = 500 \text{ Hz}$
- vers le haut, du premier ordre
- la rotation de phase est de $+90$ degrés

$$\underline{T}(jf) = \frac{20jf}{2500 + 20jf - f^2} = \frac{j \frac{f}{125}}{1 + j0,4 \frac{f}{50} - (\frac{f}{50})^2}$$

- première cassure à : $f = 50$ Hz
- vers le bas, du second ordre
- la rotation de phase est de -180 degrés

$$\underline{T}(jf) = 6 \frac{5 + jf}{(20 + jf)(1 + \frac{jf}{100})} = 1,5 \frac{1 + j \frac{f}{5}}{(1 + j \frac{f}{20})(1 + j \frac{f}{100})}$$

- première cassure à : $f = 5$ Hz
- vers le haut, du premier ordre
- la rotation de phase est de $+90$ degrés
- deuxième cassure à : $f = 20$ Hz
- vers le bas, du premier ordre
- la rotation de phase est de -90 degrés
- troisième cassure à : $f = 100$ Hz
- vers le bas, du premier ordre
- la rotation de phase est de -90 degrés

Exercice BOD08 :

$$\Rightarrow \underline{T}(jf) = \frac{200 + j0,4f}{10 + jf} = 20 \frac{1 + j \frac{f}{500}}{1 + j \frac{f}{10}} \quad \underline{T}_{BF}(jf) \approx 20 = 26 \text{ dB}$$

Aux basses-fréquences, la courbe de gain a une pente nulle et la phase vaut 0 degré.

$$\Rightarrow \underline{T}(jf) = \frac{100000}{10000 + 50jf - f^2} = 10 \frac{1}{1 + j0,5 \frac{f}{100} - (\frac{f}{100})^2} \quad \underline{T}_{BF}(jf) \approx 10 = 20 \text{ dB}$$

Aux basses-fréquences, la courbe de gain a une pente nulle et la phase vaut 0° .

$$\Rightarrow \underline{T}(jf) = \frac{50(1 + j \frac{f}{200})}{jf(1 + j \frac{f}{5000})} \quad \underline{T}_{BF}(jf) \approx \frac{1}{j \frac{f}{50}}$$

Aux basses fréquences, la courbe de gain est décroissante à -20 dB/dec et la phase vaut -90 degrés

$$\Rightarrow \underline{T}(jf) = \frac{20jf}{2500 + 20jf - f^2} = \frac{j \frac{f}{125}}{1 + j0,4 \frac{f}{50} - (\frac{f}{50})^2} \quad \underline{T}_{BF}(jf) \approx j \frac{f}{125}$$

Aux basses fréquences, la courbe de gain est croissante à 20 dB/dec et la phase vaut 90 degrés.

Exercice BOD09 :

$$\Rightarrow \underline{T}(jf) = 2 \frac{2500 + j50f}{500 + jf} = 10 \frac{1 + j \frac{f}{50}}{1 + j \frac{f}{500}} \quad \underline{T}_{BF}(jf) \approx 10 = 20 \text{ dB}$$

Démontre avec une pente nulle (à 20 dB, 0°), cassure ordre 1 vers le haut à 50 Hz, cassure ordre 1 vers le bas à 500 Hz

$$\Rightarrow \underline{T}(jf) = \frac{10 + j \frac{f}{5}}{jf(1 + j \frac{f}{200})} = \frac{1 + j \frac{f}{50}}{j \frac{f}{10}(1 + j \frac{f}{200})} \quad \underline{T}_{BF}(jf) \approx \frac{1}{j \frac{f}{10}}$$

Démarre avec une pente de -20 dB/dec et -90° (passe par 0dB à 10Hz), cassure ordre 1 vers le haut à 50Hz, cassure ordre 1 vers le bas à 200 Hz.

$$\Rightarrow \underline{T}(jf) = \frac{j1600f}{(40+jf)(200+jf)} = \frac{j\frac{f}{5}}{(1+j\frac{f}{40})(1+j\frac{f}{200})} \quad \underline{T}_{BF}(jf) \approx j\frac{f}{5}$$

Démarre avec une pente de $+20$ dB/dec et $+90^\circ$ (passe par 0dB à 5Hz), cassure ordre 1 vers le bas à 40Hz, cassure ordre 1 vers le bas à 200 Hz.

$$\Rightarrow \underline{T}(jf) = \frac{800}{400+6jf-f^2} = \frac{2}{1+j0,3\frac{f}{20}-(\frac{f}{20})^2} \quad \underline{T}_{BF}(jf) \approx 2 = 6dB$$

Démarre avec une pente nulle (6 dB, 0°), cassure ordre 2 vers le bas à 20 Hz.

A $f = 20$ Hz, la transmittance vaut en module $T = 2/0,3 = 6,67 = 16,5$ dB : la courbe de gain présente un pic important et passe à 16,5 dB au-dessus de la cassure.

Exercice BOD010 :

Gain de 20 dB en BF, cassure vers le bas à 20 Hz, puis cassure vers le haut à 1000 Hz

Exercice BOD011 :

Gain de 40 dB en BF, cassure vers le haut à 20 Hz, puis cassure vers le haut à 50 Hz

Exercice BOD12 :

$$\underline{T}(jf) = \frac{-100(50+j2,5f)}{f^2(50+jf)} = \frac{1+j\frac{f}{20}}{(j\frac{f}{10})^2(1+j\frac{f}{50})} \quad \underline{T}_{BF}(jf) = \frac{1}{(j\frac{f}{10})^2}$$

- démarre avec une pente de -40 dB/dec et -180° (passe par 0dB à 10Hz)
- cassure ordre 1 vers le haut à 20Hz (la pente passe à -20 dB/dec, la phase passe à -90°)
- cassure ordre 1 vers le bas à 50 Hz (la pente passe à -40 db/dec, la phase descend à -180°)

$$\Rightarrow \text{asymptote 1 si } f < 20\text{Hz} : \quad \underline{T}_1(jf) = \underline{T}_{BF}(jf) = \frac{1}{(j\frac{f}{10})^2} \quad \text{pente } -40 \text{ dB/dec passant par } 0\text{dB à } 10 \text{ Hz}$$

$$\Rightarrow \text{asymptote 2 si } 20 \text{ Hz} < f < 50 \text{ Hz} : \quad \underline{T}_2(jf) = \frac{j\frac{f}{20}}{(j\frac{f}{10})^2} = \frac{1}{j\frac{f}{5}} \quad \text{pente } -20 \text{ dB/dec passant par } 0\text{dB à } 5 \text{ Hz}$$

$$\Rightarrow \text{asymptote 3 si } f > 50 \text{ Hz} : \quad \underline{T}_3(jf) = \frac{1}{(j\frac{f}{15,8})^2} \quad \text{pente } -40\text{dB/dec passant par } 0\text{dB à } 15,8 \text{ Hz}$$

- à 100 Hz on est sur la 3^{ème} asymptote et on a : $\underline{T}_3(j100) = \frac{1}{(j\frac{100}{15,8})^2} = -0,025$ soit $T = -32$ dB et $\varphi = -180^\circ$

Exercice BOD13 :

$$\underline{T}(jf) = \frac{10jf}{(10+jf)(1+0,6j\frac{f}{200}-\frac{f^2}{40000})} = \frac{j\frac{f}{1}}{(1+j\frac{f}{10})(1+0,6j\frac{f}{200}-\frac{f^2}{200^2})} \quad \underline{T}_{BF}(jf) \approx j\frac{f}{1}$$

- démarre avec une pente de +20 dB/dec et +90° (passe par 0dB à 1Hz)
- cassure ordre 1 vers le bas à 10Hz (la pente devient nulle, la phase passe à 0°)
- cassure ordre 2 vers le bas à 200 Hz (la pente passe à -40db/dec, la phase descend à -180°)

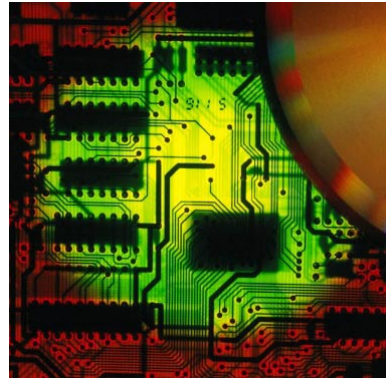
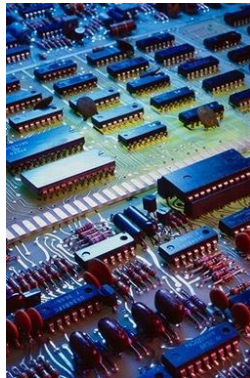
$$\Rightarrow \text{asymptote 1 si } f < 10\text{Hz} : \quad \underline{T}_1(jf) = \underline{T}_{BF}(jf) = j\frac{f}{1} \quad \text{pente } +20 \text{ dB/dec passant par } 0\text{dB à } 1 \text{ Hz}$$

$$\Rightarrow \text{asymptote 2 si } 10 \text{ Hz} < f < 200 \text{ Hz} : \quad \underline{T}_2(jf) = \frac{j\frac{f}{1}}{j\frac{f}{10}} = 10 = 20\text{dB} \quad \text{pente nulle}$$

$$\Rightarrow \text{asymptote 3 si } f > 200 \text{ Hz} : \quad \underline{T}_3(jf) = \frac{j\frac{f}{1}}{j\frac{f}{10}(-\frac{f^2}{200^2})} = -\left(\frac{632}{f}\right)^2 \quad \text{pente } -40\text{dB/dec passant par } 0\text{dB à } 632 \text{ Hz}$$

- à 2Hz on est sur la première asymptote et $\underline{T}_1(j2) = j\frac{2}{1}$ soit $T=2=6\text{dB}$
- à 600 Hz on est sur la 3^{ème} asymptote et $\underline{T}_3(j600) = -\left(\frac{632}{600}\right)^2 = -1,12$ soit $T = 1,12 = 0,9 \text{ dB}$

Questionnaire



jean-philippe muller



1- Tracé du diagramme de Bode de :

$$T(jf) = \frac{200 + j0,4f}{10 + jf}$$

⇒ l'expression pratique pour le tracé de Bode est $T(jf) =$

⇒ aux fréquences basses, l'expression approchée est $T_{BF}(jf) \approx$

- la courbe de gain est horizontale, montante, descendante (pente 20 40dB/décade) *
- la phase vaut -180, -90, 0, 90, 180 degrés *

⇒ quand la fréquence augmente, on rencontre une première cassure à $f =$ Hz

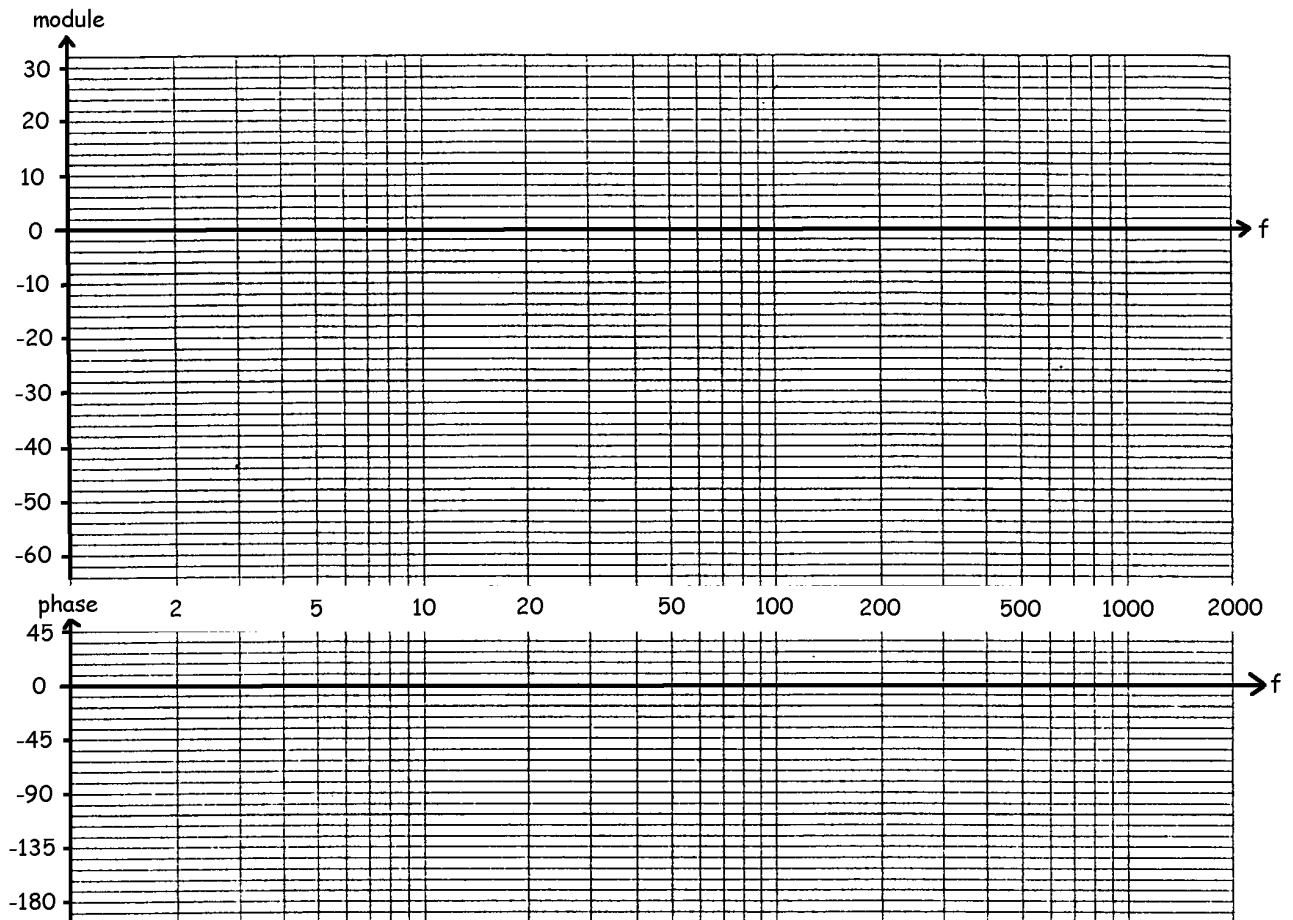
- vers le haut, vers le bas, du premier ordre, du second ordre
- la rotation de phase est de -180, -90, +90, +180 degrés

⇒ quand la fréquence augmente, on rencontre une deuxième cassure à $f =$ Hz

- vers le haut, vers le bas, du premier ordre, du second ordre
- la rotation de phase est de -180, -90, +90, +180 degrés

⇒ (vérification) aux fréquences très élevées, l'expression approchée est $T_{HF}(jf) \approx$

- la courbe de gain est horizontale, montante, descendante (pente 20dB/décade, 40dB/décade)
- la phase vaut -180, -90, 0, 90, 180 degrés



* : rayer les mentions inutiles, ou entourer la mention exacte

2- Tracé du diagramme de Bode de $T(jf) = \frac{1 + j\frac{f}{20}}{j\frac{f}{50}(1 + j\frac{f}{500})}$

⇒ aux fréquences basses, l'expression approchée est $T_{BF}(jf) \approx$

- la courbe de gain est horizontale, montante, descendante (pente 20 40dB/décade)
- la phase vaut -180, -90, 0, 90, 180 degrés

⇒ quand la fréquence augmente, on rencontre une première cassure à $f =$ Hz

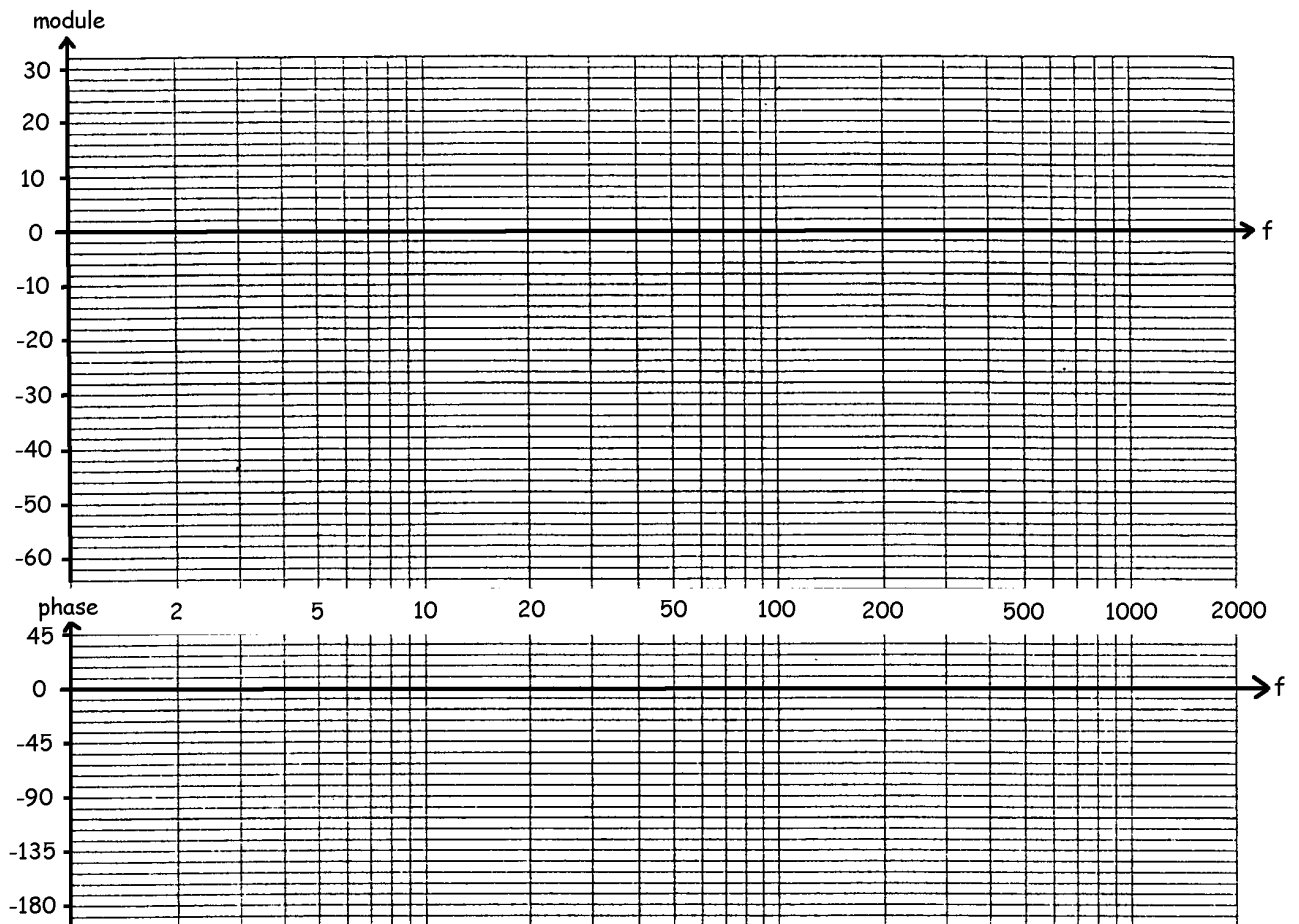
- vers le haut, vers le bas, du premier ordre, du second ordre
- la rotation de phase est de -180, -90, +90, +180 degrés

⇒ quand la fréquence augmente, on rencontre une deuxième cassure à $f =$ Hz

- vers le haut, vers le bas, du premier ordre, du second ordre
- la rotation de phase est de -180, -90, +90, +180 degrés

⇒ (vérification) aux fréquences très élevées, l'expression approchée est $T_{HF}(jf) \approx$

- la courbe de gain est horizontale, montante, descendante (pente 20dB/décade, 40dB/décade)
- la phase vaut -180, -90, 0, 90, 180 degrés



3- Tracé du diagramme de Bode de $\underline{T}(jf) = \frac{20jf}{2500 + 20jf - f^2}$

⇒ l'expression standard est $\underline{T}(jf) =$

⇒ aux fréquences basses, l'expression approchée est $\underline{T}_{BF}(jf) \approx$

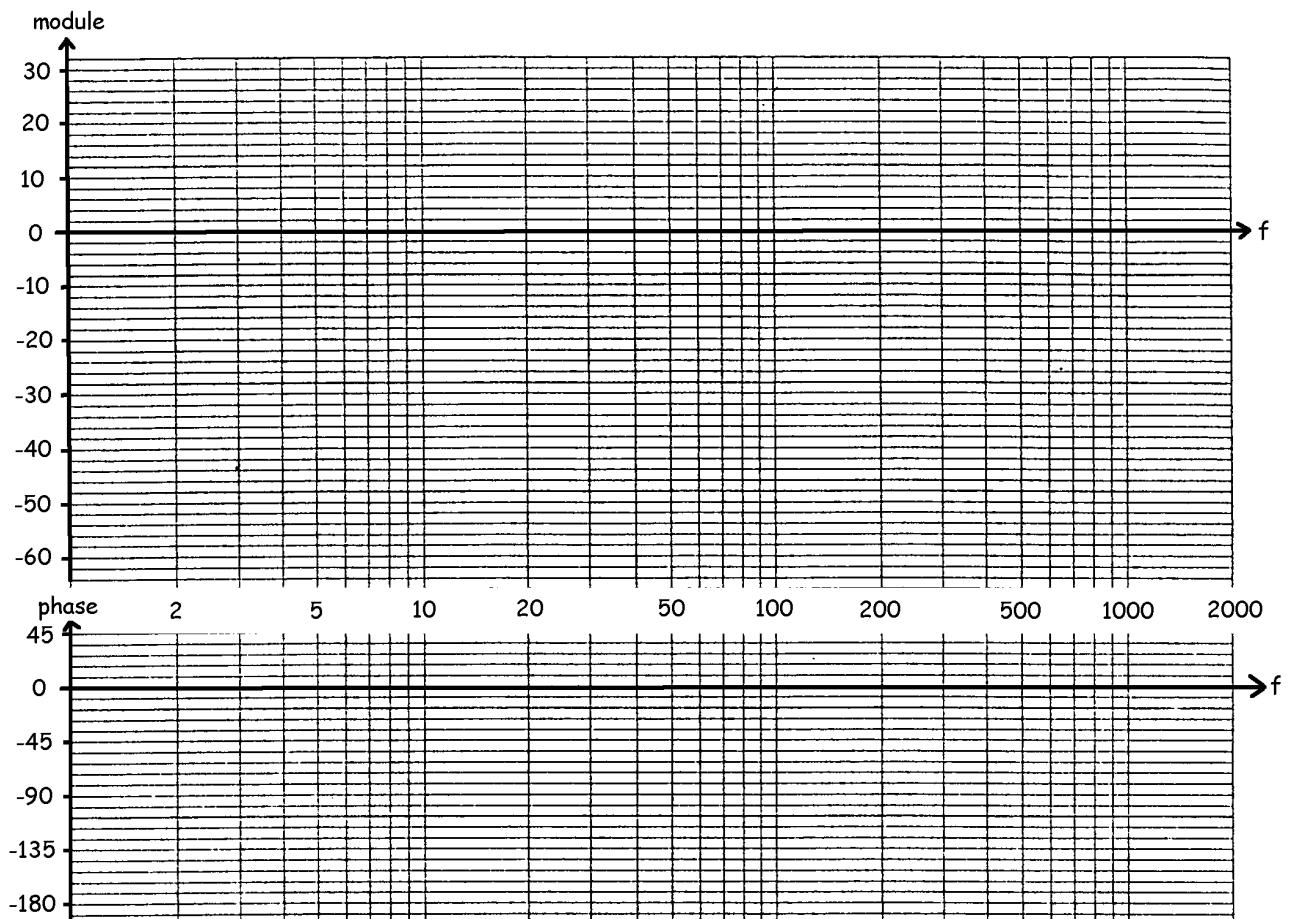
- la courbe de gain est horizontale, montante, descendante (pente 20 40dB/décade)
- la phase vaut -180, -90, 0, 90, 180 degrés

⇒ quand la fréquence augmente, on rencontre une cassure à $f =$ Hz

- vers le haut, vers le bas, du premier ordre, du second ordre
- la rotation de phase est de -180, -90, +90, +180 degrés

⇒ (vérification) aux fréquences très élevées, l'expression approchée est $\underline{T}_{HF}(jf) \approx$

- la courbe de gain est horizontale, montante, descendante (pente 20dB/décade, 40dB/décade)
- la phase vaut -180, -90, 0, 90, 180 degrés





Réponses

1- \Rightarrow l'expression pratique pour le tracé de Bode est
$$\underline{T}(jf) = 20 \frac{(1 + j \frac{f}{500})}{(1 + j \frac{f}{10})}$$

\Rightarrow aux fréquences basses, l'expression approchée est $\underline{T}_{BF}(jf) \approx 20 = 26dB$, la courbe de gain est horizontale et la phase vaut 0 degrés

\Rightarrow quand la fréquence augmente, on rencontre une première cassure à $f = 10Hz$, vers le bas, du premier ordre et la rotation de phase est de -90 degrés

\Rightarrow quand la fréquence augmente, on rencontre une deuxième cassure à $f = 500 Hz$, vers le haut, du premier ordre et la rotation de phase est de +90 degrés

\Rightarrow (vérification) aux fréquences très élevées, l'expression approchée est $\underline{T}_{HF}(jf) \approx 0,4 = -8dB$, la courbe de gain est horizontale et la phase vaut 0 degrés

\Rightarrow la courbe de gain réelle passe à 3dB au niveau des cassures

2- \Rightarrow aux fréquences basses, l'expression approchée est
$$\underline{T}_{BF}(jf) \approx \frac{1}{j \frac{f}{50}}$$

descendante (pente -20dB/décade), passe par 0dB à 50Hz et la phase vaut -90 degrés

\Rightarrow quand la fréquence augmente, on rencontre une première cassure à $f = 20 Hz$, vers le haut, du premier ordre, et la rotation de phase est de +90 degrés

\Rightarrow quand la fréquence augmente, on rencontre une deuxième cassure à $f = 500 Hz$, vers le bas, du premier ordre, et la rotation de phase est de -90 degrés

\Rightarrow (vérification) aux fréquences très élevées, l'expression approchée est
$$\underline{T}_{HF}(jf) \approx \frac{1}{j \frac{f}{1250}}$$
, la

courbe de gain descend (pente -20dB/déc), passe par 0dB à 1250Hz, et la phase vaut -90 degrés

\Rightarrow la courbe de gain réelle passe à 3dB au niveau des cassures

3- \Rightarrow l'expression standard est
$$\underline{T}(jf) = \frac{j \frac{f}{125}}{1 + 2j0,2 \frac{f}{50} - \frac{f^2}{2500}}$$

\Rightarrow l'amortissement vaut $m=0,2$ la fonction du second ordre ne peut donc pas être factorisée

\Rightarrow aux fréquences basses, l'expression approchée est $\underline{T}_{BF}(jf) \approx j \frac{f}{125}$, la courbe de gain est montante (pente 20dB/décade) et la phase vaut 90 degrés

\Rightarrow quand la fréquence augmente, on rencontre une cassure à $f = 50 Hz$, vers le bas, du second ordre, la rotation de phase est de -180 degrés

\Rightarrow (vérification) aux fréquences très élevées, l'expression approchée est
$$\underline{T}_{HF}(jf) \approx \frac{1}{j \frac{f}{20}}$$
, la courbe

de gain est descendante (pente -20dB/décade), la phase vaut -90 degrés

\Rightarrow on précisera le tracé de la courbe réelle en calculant le module à 50 Hz : $\underline{T}(j50) = 1 = 0dB$