

ELEC1

MPI

Diagramme de Bode

Diagramme de Bode : rappel de la définition

Le diagramme de Bode est l'une des caractérisations possibles d'un système linéaire. Sa détermination permet d'identifier le système pour le modéliser.

Il correspond à la réponse **harmonique** du système en régime entretenu (*i.e.* lorsque le transitoire a disparu).

Pour une entrée sinusoïdale de pulsation ω , le système étant linéaire on s'attend à une sortie de même pulsation. Les deux seules quantités qui peuvent être modifiées sont :

- le module *i.e.* l'amplitude de la sortie (par rapport à l'entrée)
- la phase (de la sortie par rapport à l'entrée)

En passant en complexes, on peut alors définir la fonction de transfert \underline{H} :

$$\begin{cases} e(t) = E \cos(\omega t + \varphi) \\ s(t) = S \cos(\omega t + \varphi') \end{cases} \xrightarrow{\text{en C}} \begin{cases} \underline{e} = E \exp j(\omega t + \varphi) = \underbrace{E \exp j\varphi}_{\underline{E}} \exp j\omega t \\ \underline{s} = S \exp j(\omega t + \varphi') = \underbrace{S \exp j\varphi'}_{\underline{S}} \exp j\omega t \end{cases}$$

$$\underline{H} = \frac{\underline{s}}{\underline{e}} = \underbrace{|\underline{H}|}_{=H} \exp j\psi \Rightarrow \underline{s} = H E \exp j(\omega t + \varphi + \psi)$$

$$s = \text{Re}(\underline{s}) = H E \cos(\omega t + \varphi + \psi)$$

L'information sur \underline{H} est donc présente :

- dans le module *i.e.* l'amplitude de la sortie (par rapport à l'entrée), $S = H E$ soit $H = \frac{S}{E}$
- la phase (de la sortie par rapport à l'entrée) $\psi = \varphi_{s/e} = \psi = \arg(\underline{H})$

Relever le diagramme de Bode revient alors à tracer le gain en décibel $G_{dB} = 20 \log \left(\frac{S}{E} \right)$ et la phase en fonction de la fréquence **en échelle logarithmique**

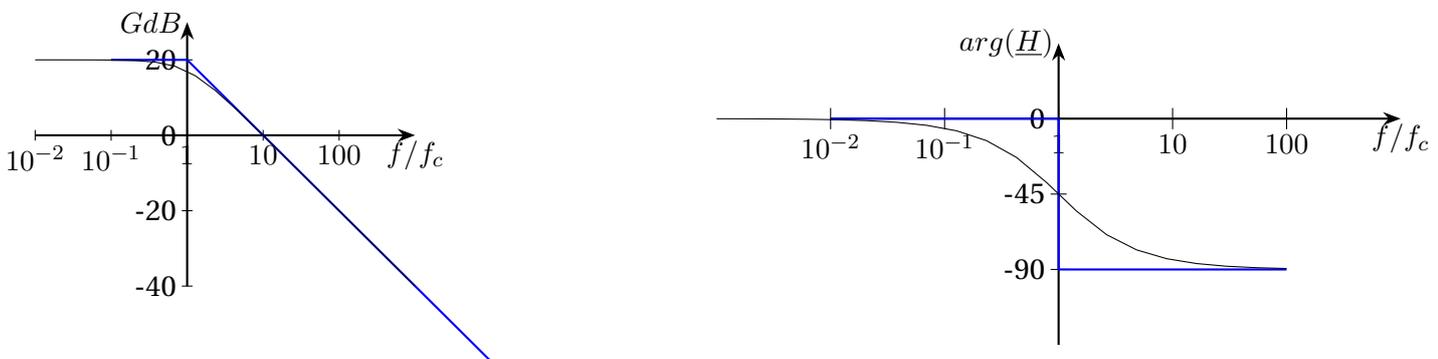


FIGURE 1 – Exemple de diagramme de Bode [1].

[1]. Le fait de tracer f/f_c au lieu de f ne fait que "décaler" horizontalement le graphe. Expérimentalement, f_c étant inconnue on trace directement f en échelle logarithmique.

NB : la fiche de rappel sur les différents filtres rappelle les caractéristiques des différentes formes canoniques "classiques" qui sont rencontrées usuellement.

Diagramme de Bode : relevé expérimental

- Etant donné la définition du diagramme de Bode, la première étape est d'alimenter le système avec **une entrée sinusoïdale pure**.
- il faut alors s'assurer que la sortie s est bien sinusoïdale [2]. Si ce n'est pas le cas, il faut vous inquiéter! Cela signifie que le système n'est PAS linéaire et dans ce cas la fonction de transfert (et le diagramme de Bode) n'a pas de sens. Il faut alors trouver la cause de non linéarité... Soit le système est intrinsèquement non linéaire, soit il est non linéaire en raison d'un effet non linéaire qui peut apparaître du fait d'une limitation de fonctionnement (saturation en courant, en tension, slew rate). Dans ce dernier cas, il suffit a priori de diminuer l'amplitude de e pour retrouver une sinusoïde.

Une fois qu'on s'est assuré de la forme correcte des signaux, il suffit de relever :

- l'amplitude de s et l'amplitude de e [3].
 - Soit à l'oscilloscope numérique ou analogique (dans ce cas il est conseillé de relever la valeur de la tension "peak to peak" (crête à crête) pour éviter le décalage de la sinusoïde par rapport à un hypothétique zéro central; par ailleurs, le rapport des amplitudes est le même que celui des tensions crêtes à crêtes ou des valeurs efficaces; il suffit de choisir le même type de grandeur pour les deux signaux d'entrée et de sortie.
 - soit, pour être plus précis, grâce à un voltmètre numérique.
- la phase de s par rapport à e .
 - soit grâce à l'oscilloscope numérique si celui-ci dispose de la mesure associée (dans ce cas il faut visualiser au moins une période sur l'écran)
 - soit avec une mesure "manuelle" type méthode des neufs carreaux, qu'on généralise à la mesure du décalage temporel comparée à celle de la période, et ce sur un nombre de carreaux quelconque (voir figure 2). On rappelle qu'on a (en radians)

$$|\psi| = \frac{\Delta t}{T} 2\pi \quad \text{et} \quad \left| \begin{array}{l} \psi > 0 \quad \text{si } s \text{ est en avance} \\ \psi < 0 \quad \text{si } s \text{ est en retard} \end{array} \right.$$

dans l'exemple $\psi = -40^\circ$

- soit avec un phase-mètre (mais nous n'en avons pas au lycée!)

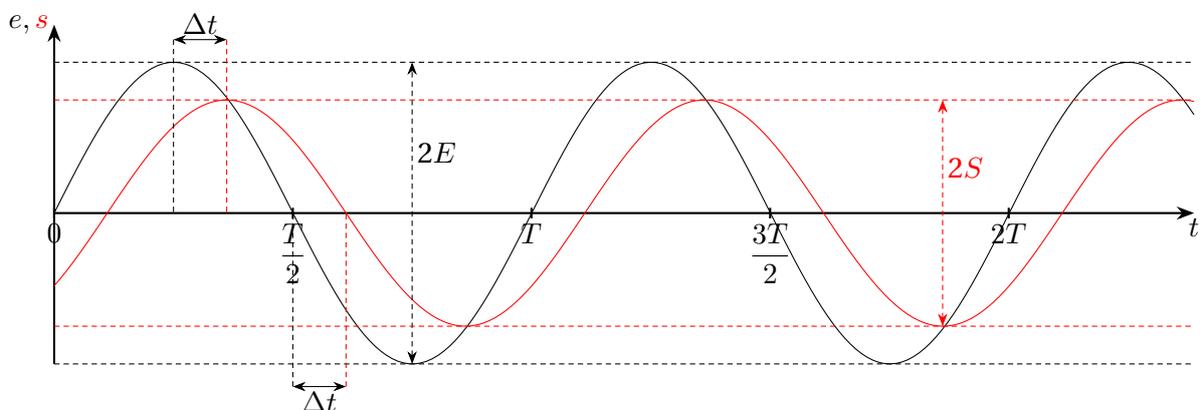


FIGURE 2 – Mesures sur un oscillogramme

[2]. il est donc souhaitable de visualiser les signaux à l'oscilloscope si possible!

[3]. il est préférable de relever systématiquement l'amplitude de e même si on la pense inchangée car l'impédance d'entrée du montage modifie parfois légèrement cette valeur, et ce de façon variable selon la fréquence...

En ce qui concerne le choix des fréquences, il ne faut pas perdre de vue que l'échelle logarithmique "écrase" fortement des fréquences trop proches (100, 200, 300 Hz par ex). Il convient donc de prendre des points suffisamment et **régulièrement espacés sur chaque décade**.

On choisit typiquement les fréquences suivantes : 30 Hz, 100 Hz, 300 Hz, 1000 Hz, 3000 Hz ou pour plus de précision : 30 Hz, 70 Hz, 100 Hz, 300 Hz, 700 Hz, etc.....) pour avoir l'allure du diagramme (*i.e.* ses asymptotes).

Dans un second temps afin d'avoir un relevé aussi précis que possible, il est de bon aloi de rajouter des points au voisinage de la zone "intéressante" (fréquence de coupure, fréquence de résonance) dans laquelle le comportement s'écarte des droites asymptotiques (fréquences "proches" de la fréquence propre).

Diagramme de Bode : Tracé à partir de points expérimentaux

Pour tracer le diagramme de Bode, on dispose de plusieurs options :

- Al'aide d'un ordinateur : un traitement de données (excel, open calc) permet à partir des amplitudes de calculer à l'aide de la formule le définissant le gain en décibel. On peut alors effectuer le tracé de ce gain en décibels en fonction de la fréquence représentée à l'aide d'une échelle logarithmique (il existe une option "échelle logarithmique" accessible en double cliquant sur l'axe des abscisses ou dans le menu format).
- A l'aide d'une calculatrice (ou de nouveau d'un tableur), on peut calculer le gain en dB en chaque point, puis tracer le diagramme de Bode sur du papier semi-log (il est nécessaire de vous assurer que vous savez l'utiliser ...)

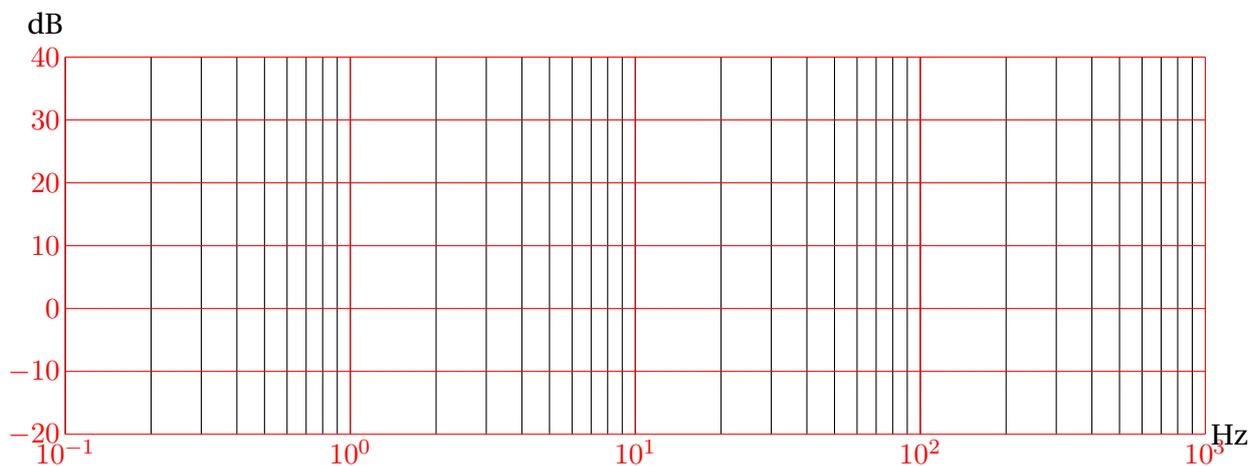


FIGURE 3 – Exemple de papier semi-log avec une légende

Attention à l'orientation !