



- Propriétés
- Module de fonction de transfert
- Argument de fonction de transfert

Electronique I

Nous allons aborder aujourd'hui le diagramme de Bode. Qu'est-ce que c'est qu'un diagramme de Bode ? Eh bien, un diagramme de Bode, c'est une façon de représenter ce qu'on appelle une fonction de transfert. Et une fonction de transfert, c'est une relation entre une variable de sortie et une variable d'entrée d'un quadripôle quelconque réalisé par de l'électronique ou par d'autres choses. Donc quand on a une variable de sortie, prenons par exemple une tension de sortie et une tension d'entrée, donc c'est le rapport entre la tension de sortie et la tension d'entrée, et quand on parle d'un diagramme de Bode, c'est qu'il s'agit réellement d'une excitation qui est sous forme sinusoïdale. Ça va nous aider beaucoup dans l'analyse des fonctions électroniques. Je pense qu'on peut le comprendre mieux quand on parle réellement des fonctions électroniques, on voit que toutes ces fonctions sont décrites par un diagramme de Bode module et phase. Alors comme introduction, je vais commencer d'abord à introduire ce que ça veut dire un diagramme, la formulation mathématique. Ensuite, on voit qu'il y a deux façons pour présenter un diagramme de Bode, c'est module et phase.

Notes

Summary



0m 05s



- Propriétés
- Module de fonction de transfert
- Argument de fonction de transfert

Electronique I

Donc on va apprendre à réaliser la fonction de transfert module et ensuite, on va regarder la fonction de transfert phase. Et je pense que la meilleure compréhension, c'est lorsqu'on avance et on arrive vers des chapitres où on traite des vraies fonctions électroniques.

Notes

Summary



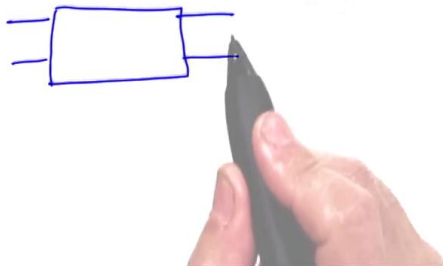
1m 15s

- K est une constante

- ω_{zi} ($i=0,k$) zéro de la fonction de transfert.

- ω_{pi} ($i=0,l$) pôle de la fonction de transfert.

$$H(j\omega) = K \frac{j\frac{\omega}{\omega_{z0}} (1 + j\frac{\omega}{\omega_{z1}}) (1 + j\frac{\omega}{\omega_{z2}}) \dots (1 + j\frac{\omega}{\omega_{zk}})}{j\frac{\omega}{\omega_{p0}} (1 + j\frac{\omega}{\omega_{p1}}) (1 + j\frac{\omega}{\omega_{p2}}) \dots (1 + j\frac{\omega}{\omega_{pl}})}$$



Electronique I

Commençons par ce qu'on appelle une fonction de transfert. Ça c'est une fonction de transfert. Dans une fonction de transfert, vous reconnaissez qu'il y a un numérateur, un dénominateur, et il y a une valeur K qui est une valeur constante. Ce qui est au numérateur, on se référence à ça avec un ω_Z , Z c'est pour zéro de fonction de transfert. Et au dénominateur, on a l'indice P pour appeler ceci pôle de la fonction de transfert. Vous allez constater qu'on a cette forme, $j(\omega/\omega_{Z0})$ et vous retrouvez la même chose au dénominateur. Donc on a aussi le $1/j(\omega/\omega_{P0})$. Donc la forme qui est au numérateur, on la retrouve pareil au dénominateur mais son inverse, donc 1 sur. Pareil pour ceci, $1+j(\omega/\omega_{Z1})$ et $1/(1+j(\omega/\omega_{P1}))$. Donc quand on réalise ces deux formes, celle-ci, celle-ci et leurs inverses, ainsi que la constante K , nous allons voir plus tard que cette représentation dite canonique va correspondre à un bloc. Dans ce bloc, on a mis de l'électronique. À la sortie, on a une variable de sortie. Cette variable de sortie pourrait être soit une tension. Donc prenons le cas d'une tension.

Notes

Summary

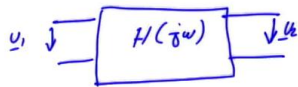


- K est une constante

- ω_{zi} ($i=0,k$) zéro de la fonction de transfert.

- ω_{pi} ($i=0,l$) pôle de la fonction de transfert.

$$H(j\omega) = K \frac{j\frac{\omega}{\omega_{z0}} (1 + j\frac{\omega}{\omega_{z1}}) (1 + j\frac{\omega}{\omega_{z2}}) \dots (1 + j\frac{\omega}{\omega_{zk}})}{j\frac{\omega}{\omega_{p0}} (1 + j\frac{\omega}{\omega_{p1}}) (1 + j\frac{\omega}{\omega_{p2}}) \dots (1 + j\frac{\omega}{\omega_{pl}})}$$



Electronique I

Notes

C'est une excitation sinusoïdale à la sortie due à une excitation sinusoïdale à l'entrée. Et ce qui est à l'intérieur de ceci, on l'appelle fonction de transfert. Et toutes ces formes canoniques que vous voyez ici représentées, celle-ci répétée une deuxième fois, une troisième fois, pareil au dénominateur, nous pouvons les réaliser par de l'électronique. Donc quand on suit le cours d'électronique, on va voir qu'une fonction $1/(1+j(\omega/\omega_{P1}))$ va correspondre à un filtre de nature passe-bas. Ça signifie que la tension de sortie, par rapport à la tension d'entrée, est le rapport va nous donner une fonction dans laquelle la fréquence basse se laisse passer à travers ce filtre et elle sera coupée à un endroit qu'on appelle le pôle de la fonction de transfert qui est lié à cet ω_{P1} et qui correspond à une valeur bien connue. Donc la variable est ω . L'unité de $H(j\omega)$, on va voir tout de suite après que c'est un rapport entre une tension et une tension, donc il n'y a pas d'unité. Et on va parler de décibel parce qu'on va chercher le 20 Log du rapport de la tension de sortie divisée par la tension d'entrée.

Summary



3m 09s

Représentations graphiques

- Le module $|H(j\omega)|$ exprimé en décibels (dB) représentée sur une échelle logarithmique

$$|H(j\omega)|_{dB} = 20 \log_{10} |H(j\omega)|$$

- Exemples :

$$|H(j\omega)| = 1$$

$$|H(j\omega)|_{dB} = 0 \text{ dB}$$

$$|H(j\omega)| = 10$$

$$|H(j\omega)|_{dB} = 20 \text{ dB}$$

$$|H(j\omega)| = 100$$

$$|H(j\omega)|_{dB} = 40 \text{ dB}$$

$$|H(j\omega)| = 1000$$

$$|H(j\omega)|_{dB} = 60 \text{ dB}$$

$$|H(j\omega)| = 0.1$$

$$|H(j\omega)|_{dB} = -20 \text{ dB}$$

$$|H(j\omega)| = 0.01$$

$$|H(j\omega)|_{dB} = -40 \text{ dB}$$

$$|H(j\omega)| = 0.001$$

$$|H(j\omega)|_{dB} = -60 \text{ dB}$$

- La phase $\text{Arg}(H(j\omega))$ exprimé en radians ou degrés représentée sur une échelle logarithmique.

Electronique I

Nous allons utiliser une représentation graphique. Cette représentation graphique elle est là pour montrer, pour un ensemble de tensions sinusoïdales, ce qui va se passer avec le module de la fonction de transfert qui va nous décrire ce qui se passera avec les amplitudes de ces différentes tensions qui vont traverser, donc je parle de la tension sinusoïdale, qui vont traverser ces quadripôles qu'on vient de voir avant. La phase, c'est aussi décrire ce qui se passe avec la phase de ces tensions sinusoïdales de la sortie par rapport à l'entrée avec une variable ω . Donc on va changer le ω , les pulsations de ces tensions, et nous allons voir à la fois leurs valeurs d'amplitudes, le rapport de valeurs d'amplitude qu'on appelle le module de la fonction de transfert, et on le décrit comme étant module de $H(j\omega)$ et on utilise cette fonction logarithmique, donc on va chercher le $20 \log$ à base 10 de $H(j\omega)$. Et pourquoi nous ferons quelque chose de ce style-là ? Il est simple étant donné que la phase va décrire les signes. Donc une tension qui est positive à l'entrée d'un quadripôle est devenue négative.

Notes

Summary



4m 28s

Représentations graphiques

- Le module $|H(j\omega)|$ exprimé en décibels (dB) représentée sur une échelle logarithmique

$$|H(j\omega)|_{dB} = 20 \log_{10} |H(j\omega)| = \frac{20}{1} \log_{10} \left(\frac{U_1}{U_2} \right)$$

- La phase $\text{Arg}(H(j\omega))$ exprimé en radians ou degrés représentée sur une échelle logarithmique.

- Exemples :

$$|H(j\omega)| = 1$$

$$|H(j\omega)| = 10$$

$$|H(j\omega)| = 100$$

$$|H(j\omega)| = 1000$$

$$|H(j\omega)| = 0.1$$

$$|H(j\omega)| = 0.01$$

$$|H(j\omega)| = 0.001$$

$$|H(j\omega)|_{dB} = 0 \text{ dB}$$

$$|H(j\omega)|_{dB} = 20 \text{ dB}$$

$$|H(j\omega)|_{dB} = 40 \text{ dB}$$

$$|H(j\omega)|_{dB} = 60 \text{ dB}$$

$$|H(j\omega)|_{dB} = -20 \text{ dB}$$

$$|H(j\omega)|_{dB} = -40 \text{ dB}$$

$$|H(j\omega)|_{dB} = -60 \text{ dB}$$

Electronique I

Eh bien, même si l'amplitude est la même, on le voit ici, il n'y a pas eu de changement d'amplitude, c'est $20 \log$ de quelque chose qui est égal à 1. Donc $20 \log$ de 1, ça veut dire la tension de sortie donc l'amplitude divisée par, si c'est la même valeur de crête, il n'y a pas eu de changement. Si ceci est égal à 1, eh bien, ça va nous donner le \log de 1 égal à 0, donc on se retrouve avec 0 dB . Pareil si la tension de sortie, c'est 10 fois supérieure à la tension d'entrée, eh bien, on va trouver 20 dB . À chaque fois qu'on multiplie par 10, on ajoute 20 dB dus à cette pente de $20 \log$ à base 10 du rapport de U_1/U_2 . Donc on peut le voir ici. À chaque fois qu'on multiplie par 0, on ajoute 20 dB . Par contre, à chaque fois qu'on divise par 10, donc la sortie est 10 fois inférieure à la tension d'entrée, eh bien, on va retrouver le signe moins qui apparaît, c'est -20 dB , -40 dB . Donc pareil, à chaque fois qu'on divise par 10, on retrouve une atténuation de 20 dB . Donc là, on parle d'amplification. Jusqu'ici. Donc de là à là, si on exclut ceci parce que là, on a un *suiveur*.

Notes

Summary



5m 42s

Représentations graphiques

- Le module $|H(j\omega)|$ exprimé en décibels (dB) représentée sur une échelle logarithmique

$$|H(j\omega)|_{dB} = 20 \log_{10} |H(j\omega)| = \frac{20}{20} \log_{10} \frac{|u|}{|u|}$$

- Exemples :

$$\begin{aligned} |H(j\omega)| &= 1 \\ |H(j\omega)| &= 10 \\ |H(j\omega)| &= 100 \\ |H(j\omega)| &= 1000 \\ |H(j\omega)| &= 0.1 \\ |H(j\omega)| &= 0.01 \\ |H(j\omega)| &= 0.001 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} |H(j\omega)|_{dB} &= 0 \text{ dB} \\ |H(j\omega)|_{dB} &= 20 \text{ dB} \\ |H(j\omega)|_{dB} &= 40 \text{ dB} \\ |H(j\omega)|_{dB} &= 60 \text{ dB} \\ |H(j\omega)|_{dB} &= -20 \text{ dB} \\ |H(j\omega)|_{dB} &= -40 \text{ dB} \\ |H(j\omega)|_{dB} &= -60 \text{ dB} \end{aligned}$$

- La phase $\text{Arg}(H(j\omega))$ exprimé en radians ou degrés représentée sur une échelle logarithmique.

Electronique I

Si on parle tension, on appelle ça *suiveur* en tension, c'est-à-dire la tension de sortie est égale à la tension d'entrée. Et à partir de là, la tension de sortie est amplifiée par rapport à la tension d'entrée. Et là, on va parler d'un amplificateur et on le voit, avec une valeur positive qui apparaît de ce côté-là. Quand on a une atténuation, c'est-à-dire la tension de sortie est atténuée par rapport à la tension d'entrée, on voit que c'est 0,1; 0,001, une division par un facteur 10. Et on voit ici que la valeur est négative. Forcément, parce que le logarithme va nous donner ce signe moins. Donc quand on a un signe moins, ceci ne décrit pas ce qui se passe avec la tension, sachant que la tension est une tension sinusoïdale qui va fluctuer entre le positif et négatif. Mais quand on vient sur le diagramme de phase, nous pouvons facilement distinguer la phase. Donc si la tension a été déphasée de 180 degrés, donc la partie positive est devenue négative, c'est dans un diagramme de phase que nous allons le comprendre. Et voilà, cette explication décrit la base de deux représentations graphiques, une représentation graphique qui s'intéresse à l'amplitude et une représentation graphique qui s'intéresse à la phase.

Notes

Summary

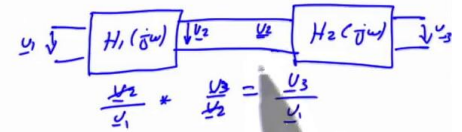


7m 06s

$$\underline{H}(j\omega) = \underline{H}_1(j\omega) \cdot \underline{H}_2(j\omega)$$



$$|\underline{H}(j\omega)| \text{ dB} = |\underline{H}_1(j\omega)| \text{ dB} + |\underline{H}_2(j\omega)| \text{ dB}$$



D'où, l'intérêt de mettre une fonction de transfert $\underline{H}(j\omega)$ sous la forme:

$$\underline{H}(j\omega) = K \frac{j\frac{\omega}{\omega_{zo}} (1 + j\frac{\omega}{\omega_{z1}}) (1 + j\frac{\omega}{\omega_{z2}}) \dots (1 + j\frac{\omega}{\omega_{zk}})}{j\frac{\omega}{\omega_{po}} (1 + j\frac{\omega}{\omega_{p1}}) (1 + j\frac{\omega}{\omega_{p2}}) \dots (1 + j\frac{\omega}{\omega_{pl}})}$$

Electronique I

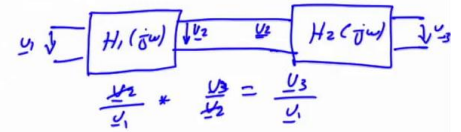
Quand on prend deux quadripôles, un quadripôle que j'appelle $H_1(j\omega)$ et un autre quadripôle qui suit et on les met comme ça, l'un derrière l'autre, donc on l'appelle $H_2(j\omega)$. La fonction de transfert globale, c'est-à-dire si vous mettez une tension à l'entrée, tension sinusoïdale, je mets dessous un trait pour dire que c'est une représentation complexe, et vous regardez ce qui se passe à la sortie et je l'appelle U_2 . Cette même tension, elle est lue par le deuxième donc j'ai U_2 qui apparaît ici et je vais sortir une tension U_3 qui est ici. Donc si je décris le module de la fonction de transfert comme étant U_2/U_1 , la tension de sortie sur la tension d'entrée, suivie par U_2 , qui est la même, divisée par la tension... Pardon, là je dois écrire U_3 divisée par la tension U_2 . Eh bien, vous allez voir qu'en simplifiant U_2 et U_2 , c'est bel et bien la fonction de transfert globale qui est U_3 divisée par U_1 . Donc c'est une fonction de transfert, on s'intéresse à la sortie par rapport à l'entrée. La tension U_2 intermédiaire se simplifie, n'apparaît pas.

Notes

Summary



$$\underline{H}(j\omega) = \underline{H}_1(j\omega) \cdot \underline{H}_2(j\omega)$$



$$|\underline{H}(j\omega)| \text{ dB} = |\underline{H}_1(j\omega)| \text{ dB} + |\underline{H}_2(j\omega)| \text{ dB}$$

D'où, l'intérêt de mettre une fonction de transfert $\underline{H}(j\omega)$ sous la forme:

$$\underline{H}(j\omega) = K \frac{j\frac{\omega}{\omega_{zo}} (1 + j\frac{\omega}{\omega_{z1}}) (1 + j\frac{\omega}{\omega_{z2}}) \dots (1 + j\frac{\omega}{\omega_{zk}})}{j\frac{\omega}{\omega_{po}} (1 + j\frac{\omega}{\omega_{p1}}) (1 + j\frac{\omega}{\omega_{p2}}) \dots (1 + j\frac{\omega}{\omega_{pl}})}$$

Electronique I

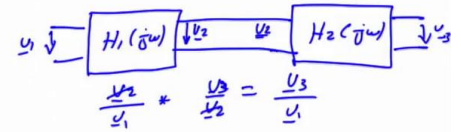
Donc si vous prenez $H(j\omega)$ et vous dites que c'est $H_1(j\omega)$ et vous dites que c'est U_2/U_1 et la fonction $H_2(j\omega)$ qui est égale à U_3/U_2 , eh bien, leur produit, ce qu'on vient d'effectuer ici, correspond à la fonction de transfert globale de la mise en série de l'un derrière l'autre qui va nous donner U_3 divisé par U_1 . C'est réellement ce qui se passe. Vous prenez une application audio, vous imaginez que vous avez un pré-ampli et un ampli. Le pré-ampli reçoit depuis un micro, depuis un tuner, depuis un lecteur mp3, un signal U_1 , le convertit en une tension U_2 , amplifiant en tension, entre dans un ampli de puissance et ressort avec une puissance accrue ou une tension à la sortie U_3 . Vous verrez que la fonction de transfert globale est le produit de l'un par rapport à l'autre. Ce qui nous intéresse nous, c'est que l'entrée d'un micro et la sortie sur un haut-parleur qu'on va mettre ici. Donc on est intéressé par le produit des fonctions de transfert $H_1(j\omega)$ par $H_2(j\omega)$. Tout ceci se transforme en addition. Parce que quand on l'exprime en décibels, le fait d'utiliser le logarithme, ça va nous transformer la multiplication en addition et ça va nous donner la somme.

Notes

Summary



$$\underline{H}(j\omega) = \underline{H}_1(j\omega) \cdot \underline{H}_2(j\omega)$$



$$|\underline{H}(j\omega)| \text{ dB} = |\underline{H}_1(j\omega)| \text{ dB} + |\underline{H}_2(j\omega)| \text{ dB}$$

D'où, l'intérêt de mettre une fonction de transfert $\underline{H}(j\omega)$ sous la forme:

$$\underline{H}(j\omega) = K \frac{j\frac{\omega}{\omega_{z0}} (1 + j\frac{\omega}{\omega_{z1}}) (1 + j\frac{\omega}{\omega_{z2}}) \dots (1 + j\frac{\omega}{\omega_{zk}})}{j\frac{\omega}{\omega_{p0}} (1 + j\frac{\omega}{\omega_{p1}}) (1 + j\frac{\omega}{\omega_{p2}}) \dots (1 + j\frac{\omega}{\omega_{pl}})}$$

Electronique I

Si ceci c'est le module de la fonction de transfert $H_1(j\omega)$, il suffit d'ajouter à ce module $H_1(j\omega)$ le module de $H_2(j\omega)$. Donc on a réussi à transformer une multiplication par de l'addition. Si on est capable de représenter un diagramme dans lequel le module décrit ce qui se passe avec ce bloc-là en fonction de la variation d'une variable qui est la pulsation, en d'autres termes la fréquence parce que ω égal $2\pi f$, donc si on a à tracer le diagramme de Bode de $H_1(j\omega)$, tracer le diagramme de Bode de $H_2(j\omega)$, il suffit d'ajouter les deux pour obtenir ce genre de circuiterie pourrait donner. Donc l'intérêt de mettre une fonction de transfert sous la forme de ceci, je l'ai mis en couleur pour montrer les différents types de fonctions que nous allons étudier, eh bien, c'est que ceci va se transformer en addition.

Notes

Summary



But : faciliter le tracé du diagramme de Bode

$$\underline{H}(j\omega) = K \frac{j\frac{\omega}{\omega_{z0}} (1 + j\frac{\omega}{\omega_{z1}}) (1 + j\frac{\omega}{\omega_{z2}}) \dots (1 + j\frac{\omega}{\omega_{zk}})}{j\frac{\omega}{\omega_{po}} (1 + j\frac{\omega}{\omega_{p1}}) (1 + j\frac{\omega}{\omega_{p2}}) \dots (1 + j\frac{\omega}{\omega_{pl}})}$$



$$|H(j\omega)|_{dB} = |K|_{dB} +$$

$$|j\frac{\omega}{\omega_{z0}}|_{dB} + |1 + j\frac{\omega}{\omega_{z1}}|_{dB} + |1 + j\frac{\omega}{\omega_{z2}}|_{dB} + \dots + |1 + j\frac{\omega}{\omega_{zk}}|_{dB} +$$

$$|\frac{1}{j\frac{\omega}{\omega_{po}}}|_{dB} + |\frac{1}{1 + j\frac{\omega}{\omega_{p1}}}|_{dB} + |\frac{1}{1 + j\frac{\omega}{\omega_{p2}}}|_{dB} + \dots + |\frac{1}{1 + j\frac{\omega}{\omega_{pl}}}|_{dB}$$

Electronique I

Prenons maintenant cette même fonction et regardons ce qui va se passer quand on commence à additionner ces formes canoniques, à savoir la constante, tracée en décibels, s'ajouterait à tout ce qui est fonction canonique de chaque bloc. Parce que là, j'ai une série de multiplications, c'est comme si j'ai pris des blocs électroniques et que je les ai alignés l'un derrière l'autre. Et j'ai une fonction qui semble être très complexe mais si chaque bloc correspond à une réalisation électronique que nous maîtrisons, eh bien, il suffit après d'additionner les diagrammes de Bode qu'on va tracer et apprendre à tracer pour chacune de ces fonctions. Alors ceci apparaît comme étant quelque chose d'assez abstrait mais quelqu'un qui fait de l'électronique, il va utiliser ça régulièrement parce qu'il va se rendre compte qu'à chacune de ces formes, on a une fonction pure et dure qu'on réalise et on a fait en sorte que ces formes canoniques soient transformées en un circuit qui sera présenté dans le cadre de ce cours.

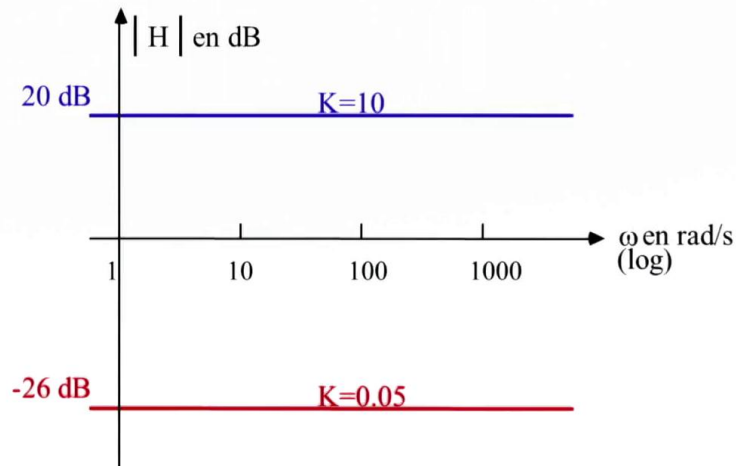
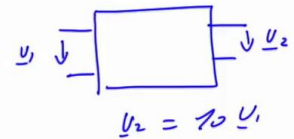
Notes

Summary



Module constant

Si $|K| > 1$, alors $|K|_{dB} > 0$



Electronique I

Je vais parcourir maintenant, terme après terme, je commence par le module constant d'une fonction de transfert. Supposez que vous avez une fonction de transfert, qu'à l'entrée vous mettiez un signal. Donc vous avez un quadripôle. Vous mettez dans ce quadripôle une tension sinusoïdale U_1 et vous vous attendez à trouver une tension U_2 à la sortie et vous retrouvez tout le temps que votre tension U_2 est égale à 10 fois U_1 . Donc s'il s'agit d'une tension de 1V, vous allez trouver 10V à la sortie et comme il s'agit d'une fonction sinusoïdale. Et supposez que vous changez la fréquence de cette tension U_1 à l'entrée et vous voyez que U_2 reste toujours la même fréquence à l'entrée, bien sûr parce que c'est le même signal d'excitation, mais malgré toute la variation de fréquence que vous pouvait faire subir à U_1 , il n'y a aucun effet sur le rapport entre les deux. Donc j'ai un amplificateur et tout ce qu'il voit à l'entrée, il le multiplie par un facteur 10 sans pour autant changer l'amplitude de la tension de sortie par rapport à la tension d'entrée. Donc on va dire que lorsque la constante K est positive, et je donne cette exemple, on a toujours 20 Log de 10, eh bien ça va me donner 20 dB.

Notes

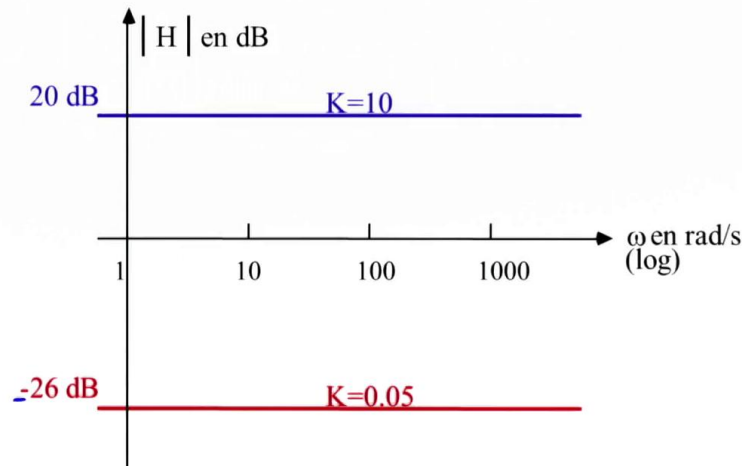
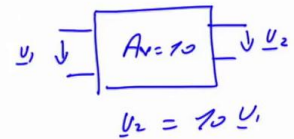
Summary



13m 18s

Module constant

Si $|K| > 1$, alors $|K|_{dB} > 0$



Electronique I

Maintenant si on regarde ce qui se passe si j'ai un atténuateur, c'est-à-dire que j'ai mis ici une fonction et cette fonction, à chaque fois que je mets une tension à l'entrée, je trouve à la sortie le 0,05 de l'amplitude de cette tension. Donc je l'ai atténuée d'une certaine quantité, il va apparaître le signe négatif parce que c'est $20 \log$ de 0,05 qui va me donner -26. Et comme vous le voyez, j'utilise l'unité décibel parce que U_2/U_1 n'a pas d'unité. La représentation en décibels me permet de décrire une non-unité et en utilisant cette représentation avec le $20 \log$, eh bien, on voit la multiplication par 10 qui nous facilite la tâche de comprendre que chaque augmentation d'une décade, ça va correspondre à ajouter 20 dB à cette droite. Si maintenant je mets un deuxième amplificateur qui me fait un gain qui est égal à 10 et je refais un deuxième derrière qui est le même, eh bien, je vais voir que j'ai 40 dB donc j'ai multiplié par 100.

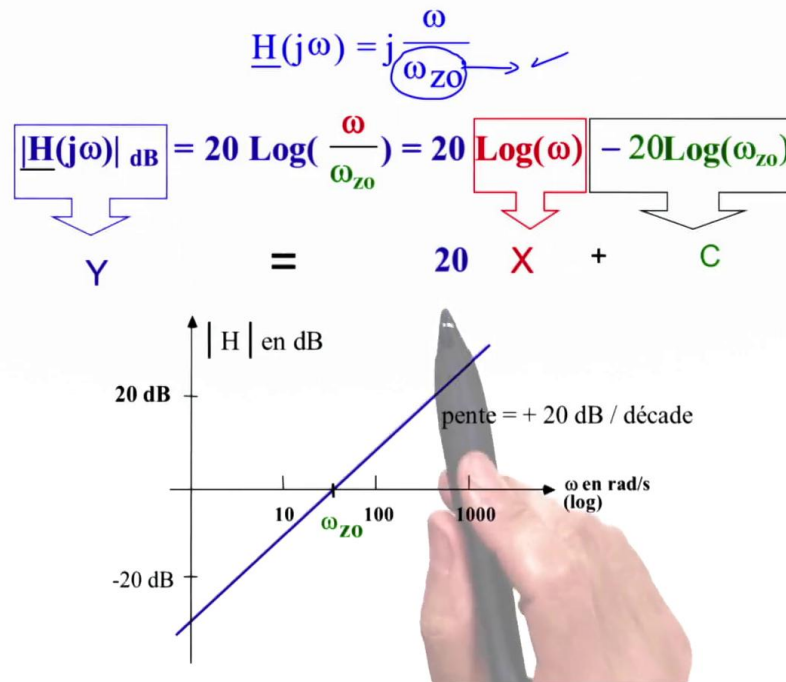
Notes

Summary



14m 40s

Module imaginaire



Electronique I

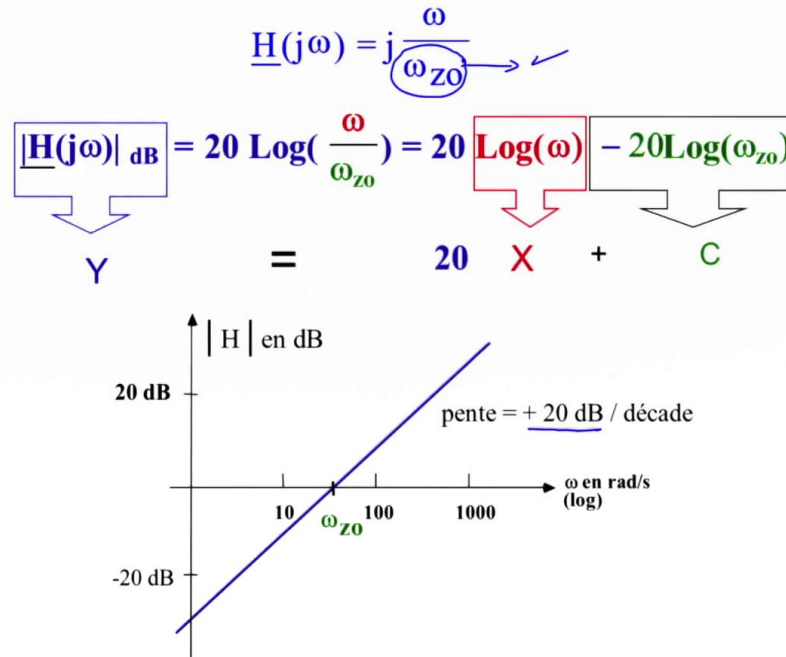
Je vais prendre une autre fonction canonique, c'est celle qui contient un nombre complexe. Là maintenant, j'ai un $j(\omega/\omega_{z0})$ et je vais écrire ça en décibels. Donc le module de $H(j\omega)$, c'est $20 \log$ du module d'un nombre complexe. Donc le module d'un nombre complexe $j(\omega/\omega_{z0})$ va me donner $20 \log(\omega/\omega_{z0})$, que je peux écrire $20 \log(\omega) - 20 \log(\omega_{z0})$. En pratique, le ω_{z0} va correspondre à une valeur donnée, ça on sait, c'est une valeur numérique qui va dépendre, dans mon circuit électronique, des valeurs peut-être d'une résistance ou d'une capacité ou d'une résistance et une inductance. Donc c'est des choses que je connais, c'est des valeurs qui correspondent à des valeurs de composants. Par contre la variable, c'est ω . Donc étant donné qu'on va tracer le diagramme de Bode sur cet axe-là et on va rapporter le \log de ω . Donc comme si j'étais en train de dire que le \log de ω , c'est X et ça c'est une constante. Donc ça fait $20X$ plus une constante.

Notes

Summary



Module imaginaire



Electronique I

Si je veux rapporter ça sur un diagramme de Bode, là, j'ai tracé l'axe qui contient $\text{Log}(\omega)$ et là, ce sont des décibels, eh bien, c'est une droite $20X+C$, c'est une droite d'une pente qui est égale à 20 dB et qui va passer par ω_{z0} , lorsque y est égal à 0, je vais trouver que x est égal à ω_{z0} . Donc ça, on l'appelle module de fonction de transfert de la fonction canonique qui est égale à $j(\omega/\omega_{z0})$ et qui correspond à un rapport entre une tension, entre une tension et un courant, entre deux courants, à la sortie d'un quadripôle. Donc la nature de la variable est indépendante de cette fonction, elle veut simplement décrire ce qui se passe quand on transfère une variable d'entrée vers la variable de sortie.

Notes

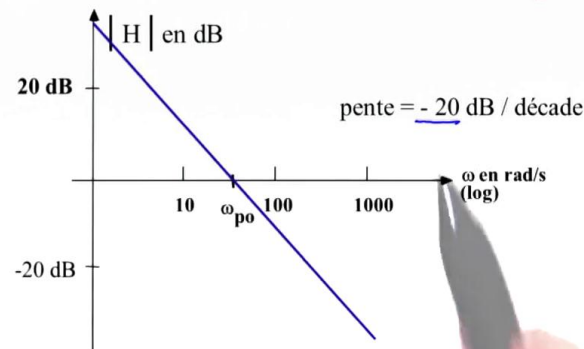
Summary



Module imaginaire

$$H(j\omega) = \frac{1}{j\omega_{po}}$$

Module $\rightarrow |H(j\omega)|_{dB} = -20 \log \left(\frac{\omega}{\omega_{po}} \right)$ dB



Electronique I

J'aimerais regarder l'inverse de ce qu'on vient de voir. Donc au lieu de prendre $j(\omega/\omega_{Z0})$, je prends son inverse $1/j(\omega)$, étant donné que ça va passer au dénominateur, j'appelle ça pôle de fonction de transfert et j'écris ω_{P0} . Et je vais tracer le diagramme de Bode de ceci module, diagramme de Bode module. Eh bien, figurez-vous que c'est très simple, pas besoin de passer beaucoup trop de temps à analyser ça. $20\log(1)$, c'est 0. $-j(\omega/\omega_{P0})$, son module c'est ω/ω_{P0} . Et $20\log$ de ceci va me donner le signe moins derrière, donc ce qu'on vient de voir juste avant, il se retrouve pareil mais avec une pente négative. Là, je vais me retrouver avec -20 dB par décade. Donc ça va me donner une fonction de transfert qui a une pente égale à -20 dB/décade et qui passe par ω_{P0} lorsque l'axe des y me donne zéro. Ceci va correspondre plus tard, on va le voir, à une fonction intégrateur dans le domaine temporel et grâce à ça, il y a un circuit électronique qu'on va apprendre qui se fait par un amplificateur opérationnel par exemple et qui nous permettrait d'obtenir cette fonction. Donc à cette fonction-là va correspondre un quadripôle.

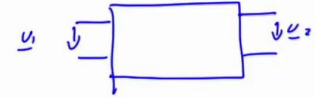
Notes

Summary

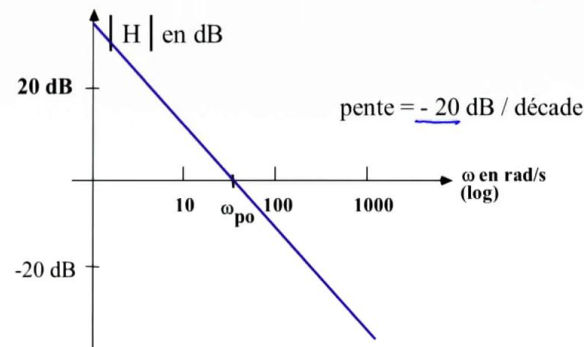


Module imaginaire

$$H(j\omega) = \frac{1}{j\omega\omega_{po}}$$



Module $\rightarrow |H(j\omega)|_{dB} = -20 \log \left(\frac{\omega}{\omega_{po}} \right)$ dB



Electronique I

Dans ce quadripôle, on va mettre de l'électronique. Et l'électronique, quand vous lui appliquez une tension à l'entrée U_1 , il va nous donner à la sortie U_2 . Cette tension devrait être sinusoïdale. Lorsque vous faites varier la pulsation de cette tension sinusoïdale, donc vous augmentez ou vous baissez la fréquence, vous allez observer U_2 et vous allez voir que cette tension U_2 va parcourir cette courbe. Si vous augmentez la fréquence, donc en l'occurrence la pulsation, vous verrez que l'amplitude de la tension U_2 va baisser et baisser et baisser et baisser en suivant cette courbe donc ça va baisser à coups de 20 dB/décade. Donc à chaque fois qu'on passe de 10 à 100, nous perdons un facteur 10 sur l'amplitude de la tension de sortie. Et ce diagramme décrit clairement ceci. Donc plus tard, quand on sait que là-dedans, on a mis une fonction de transfert, que vous verrez qu'il s'agit d'un intégrateur, eh bien, vous pouvez directement tracer cette droite sans hésiter et vous verrez que vous faites passer par ce qui est dans le dénominateur, cette valeur-là qu'on a dit qui va correspondre à une valeur constante donnée par les valeurs des composants que nous allons utiliser.

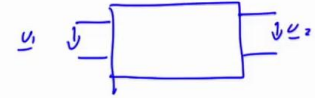
Notes

Summary

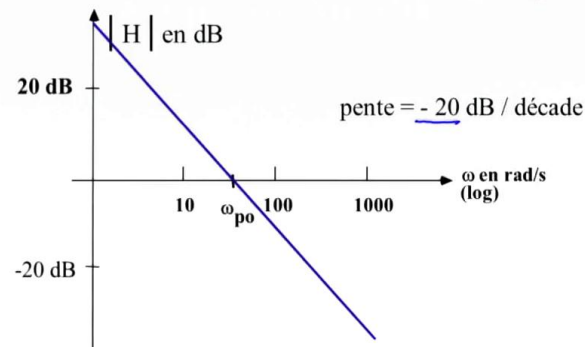


Module imaginaire

$$H(j\omega) = \frac{1}{j\omega_{po}} \rightarrow ct.$$



Module $\rightarrow |H(j\omega)|_{dB} = -20 \log \left| j\frac{\omega}{\omega_{po}} \right|_{dB}$



Electronique I

Donc vous rapportez ça ici et vous faites une pente de -20 dB et vous allez avoir clairement le comportement de votre fonction de transfert qui est à l'intérieur de ça, de ce bloc. Donc vous verrez que la tension de sortie par rapport à la tension d'entrée est parfaitement décrite par ceci.

Notes

Summary



20m 41s

Module réel et imaginaire

$$H(j\omega) = 1 + j \frac{\omega}{\omega_{Z1}}$$

Module $\Rightarrow |H(j\omega)| = \sqrt{1 + \left(\frac{\omega}{\omega_{Z1}}\right)^2}$

1^{ère} asymptote $\Rightarrow \lim_{\omega \rightarrow \infty} H(j\omega) = j \frac{\omega}{\omega_{Z1}} \quad (\text{Im})$

2^{ème} asymptote $\Rightarrow \lim_{\omega \rightarrow 0} H(j\omega) = 1 \quad (\text{Re})$

Valeur particulière $\Rightarrow |H(j\omega)| = \sqrt{2} = +3\text{dB}$
($\omega = \omega_{Z1}$)

Electronique I

Je vais prendre maintenant $1 + j(\omega/\omega_{Z1})$. Là, contrairement à ce qu'on vient de voir avant, on a tracé un réel pur, puis on a tracé un imaginaire pur. Là, je prends une fonction qui contient une partie réelle et une partie imaginaire. Alors je suis bien sûr amené à écrire le module de ce nombre complexe qui est la racine carrée de la partie réelle au carré plus la partie imaginaire au carré. Et maintenant, je dois tracer le module dans un diagramme de Bode où la variable est ω . Le ω_{Z1} est connu et je dois rapporter ça. Alors on peut tracer ça comme on trace n'importe quelle fonction analytique. On commence par regarder les asymptotes. Donc on fait tendre ω vers l'infini. Si ω tend vers l'infini, on a, dans cette fonction, une partie imaginaire qui devient beaucoup plus dominante par rapport à la partie réelle. Donc on peut dire que c'est quasi imaginaire pur et je néglige la partie réelle. Donc je vais trouver que lorsque ω tend vers l'infini, la fonction est similaire à celle qu'on vient de tracer juste avant, qu'on a appelé $j(\omega/\omega_{Z1})$ et je néglige la partie réelle qui, en l'occurrence, est égale à 1. Donc j'ai $1+j$ fois infini.

Notes

Summary



21m 00s

Module réel et imaginaire

$$\underline{H}(j\omega) = 1 + j \frac{\omega}{\omega_{z1}}$$

Module →

$$|\underline{H}(j\omega)| = \sqrt{1 + \left(\frac{\omega}{\omega_{z1}}\right)^2}$$

1^{ère} asymptote →

$$\lim_{\omega \rightarrow \infty} \underline{H}(j\omega) = j \frac{\omega}{\omega_{z1}} \quad (\text{Im})$$

2^{ème} asymptote →

$$\lim_{\omega \rightarrow 0} \underline{H}(j\omega) = 1 \quad (\text{Re})$$

Valeur particulière
($\omega = \omega_{z1}$) →

$$|\underline{H}(j\omega)| = \sqrt{2} = +3\text{dB}$$

Electronique I

Il y a une deuxième asymptote, c'est lorsque je fais tendre ω vers 0. Eh bien, lorsque ω tend vers 0, je vais me retrouver avec réel pur et réel pur va être égal à 1, la partie imaginaire va disparaître. Je vais chercher un point particulier qui appartient à ce module. Je remplace ω par ω_{z1} et je vais trouver $\sqrt{2}$. $20\text{Log}(\sqrt{2})$ c'est à peu près égal à 3 dB. Donc j'ai une première asymptote, une deuxième asymptote et une valeur particulière qui appartient qui est égale à +3 dB. Et je vais aller tracer le diagramme asymptotique que je viens d'avoir ici et après, tracer le diagramme réel que je vais trouver pour une fonction de $1 + j(\omega/\omega_{z1})$.

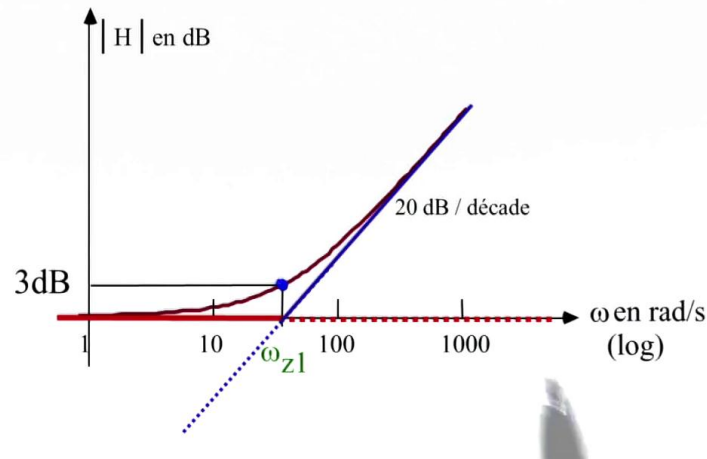
Notes

Summary



Module réel et imaginaire

$$H(j\omega) = 1 + j \frac{\omega}{\omega_{Z1}}$$



Electronique I

Nous allons trouver ceci. Nous allons trouver qu'on a cet axe qui va être une asymptote, l'axe des x . Et on a ce deuxième asymptote. En effet, ça va correspondre lorsque ω tend vers l'infini et on avait vu qu'on peut négliger le 1. Donc ça nous a donné $j(\omega/\omega_{Z1})$ et on avait vu que c'est une droite qui passe par ω_{Z1} et que la vraie courbe que nous aurons mesuré à la sortie de l'électronique, quand l'électronique représente une fonction de transfert qui est celle-ci, va correspondre à cette droite, ou cette courbe, qui est en rouge, qui part asymptotiquement autour de... d'une fréquence basse qui va asymptotiquement sur l'axe des x et qui va après asymptotiquement vers cette droite d'une pente de +20 dB/décade. Et comme on avait que lorsque ω est égal à ω_{Z1} , donc on a $1+j$, ça fait +3 dB. Donc il y a ce point-là et ce point correspond à un point particulier. Donc on a qu'à esquisser cette courbe qui est celle-ci. Donc on voit que cette fonction électronique que plus tard on va réaliser avec des circuiteries électroniques, quand ω est assez proche de 0, donc une tension DC, nous nous retrouvons avec une fonction qui va directement vers une direction asymptotique où pour ω égal à 0, l'amplitude de sortie va être quasi nulle.

Notes

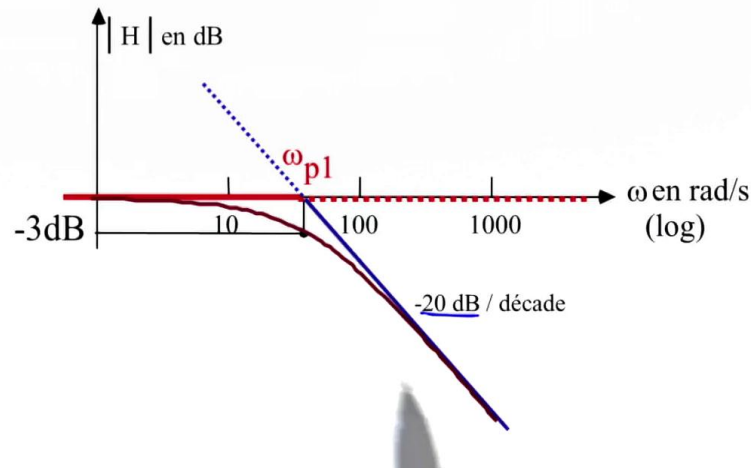
Summary



23m 12s

Module réel et imaginaire

$$\underline{H}(j\omega) = \frac{1}{1 + j\frac{\omega}{\omega_{p1}}}$$



Electronique I

Et plus on augmente la pulsation, nous allons voir que la fonction de transfert va nous donner à la sortie une variable qui va augmenter et qui va partir asymptotiquement sur cette asymptote $j(\omega/\omega_{Z1})$. J'aimerais prendre l'inverse de ceci et je crois que maintenant celui qui suit le développement de ce diagramme de Bode a bien compris que l'on prend $1 + j(\omega/\omega_{Z1})$ et on met 1 sur, on remplace le ω_Z par un pôle de fonction de transfert, et l'inverse de ça, il suffit de prendre ce qu'on avait vu avant, c'est-à-dire cette même courbe était symétrique dans ce sens-là, on va le trouver maintenant vers le bas parce que c'est $20 \text{ Log de } 1$, qui est égal à 0, moins ce qu'on vient d'analyser, le $20 \text{ Log}(1 + j(\omega/\omega_{P1}))$. Donc il suffit de mettre le signe moins et on retrouve la même chose. On retrouve l'axe des x qui reste une asymptote mais cette droite devient avec une pente égale à -20 dB . Le fait de trouver -20 dB va nous permettre de tracer maintenant la courbe qui passe par -3 dB , c'est lorsque ω est égal à ω_{P1} , donc lorsque l'on a la variable ω ici.

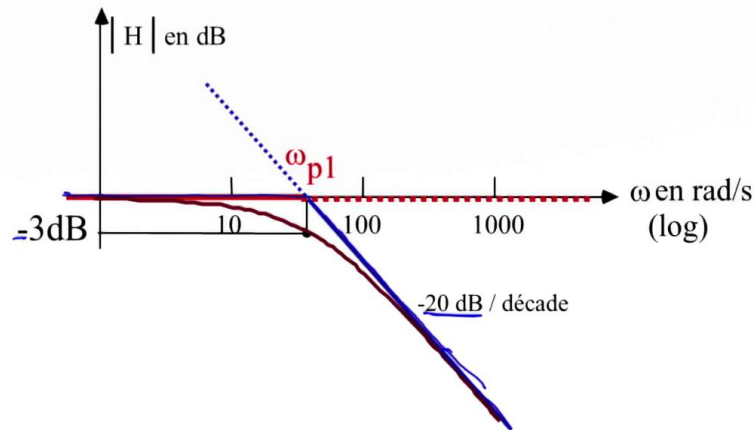
Notes

Summary



Module réel et imaginaire

$$\underline{H}(j\omega) = \frac{1}{1 + j\frac{\omega}{\omega_{p1}}}$$



Electronique I

On a une fonction de transfert qui devient $1/(1+j)$ et le module de cette fonction de transfert, c'est le module de $1/\sqrt{1+1}$, eh bien, ça va nous donner -3 dB. Et nous trouvons ici la caractéristique assez connue de ce qu'on appelle un filtre passe-bas qui serait aussi réalisé et ça correspond à une fonction où les basses fréquences passent, sont multipliées par 1, donc on les retrouve, la tension de sortie s'il s'agit d'un quadripôle à basses fréquences, ce qui est à l'entrée apparaît à la sortie. La tension U_1 sinusoïdale apparaît telle qu'elle est à la sortie avec son amplitude. Et quand on augmente la pulsation, on commence à avoir une baisse de la tension à la sortie et après, on continue à baisser et le diagramme asymptotique que vous voyez ici, sans la courbe qui passe, la courbe réelle, on parle très souvent d'une représentation asymptotique, c'est-à-dire qu'on se contente simplement de faire ce que je vais marquer en bleu, c'est cette partie-là et bien sûr cette droite qui est déjà en bleu et nous parlons de cette asymptote ou diagramme asymptotique de la fonction $1/(1+j(\omega/\omega_{p1}))$, qui est typiquement une fonction d'un filtre passe-bas ayant un pôle qui se trouve à ω_{p1} .

Notes

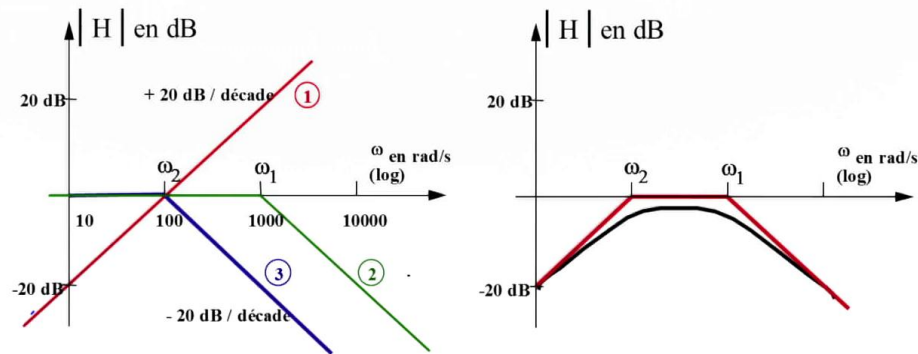
Summary



Exemple

$$\underline{H}(j\omega) = \frac{1 \cdot j\frac{\omega}{\omega_2}}{(1 + j\frac{\omega}{\omega_1})(1 + j\frac{\omega}{\omega_2})}$$

$\omega_2 = 100 \text{ rad/s}$
 $\omega_1 = 1000 \text{ rad/s}$



Electronique I

Je vais traiter un exemple complet qui contient maintenant une fonction de Bode ou une fonction de transfert $H(j\omega)$, qui contient trois parties. J'ai une partie $j(\omega/\omega_2)$, qui se trouve au numérateur. Donc ça, c'est un 0 de fonction de transfert. J'ai $1/(1+j(\omega/\omega_1))$ et j'ai $1/(1+j(\omega/\omega_2))$. Et j'ai donné des valeurs pour ω_2 et ω_1 , disant ω_2 se trouve à 100 rad/s, ω_1 se trouve à 1000 rad/s. Et j'ai rapporté les trois fonctions sur un seul diagramme de Bode. Une fonction indépendante de l'autre en maintenant les mêmes couleurs. Donc la fonction de $j(\omega/\omega_2)$, c'est une droite, on a vu ceci, d'une pente égale à +20 dB/décade. A chaque multiplication par 10, une décade, on va gagner 20 dB sur l'amplitude et plus on augmente la pulsation, plus on va parcourir à la sortie de ce quadripôle, j'ai ω/ω_2 , une amplitude qui est proportionnelle à l'entrée selon cette droite. Après, si vous prenez les trois fonctions de transfert, c'est comme si on avait prit un premier quadripôle suivi par un deuxième quadripôle, suivi par un troisième quadripôle et on les a mis les uns après les autres et on a imposé une tension à l'entrée et on a regardé une tension à la sortie, que je vais appeler U_{out} , ça c'est une tension sinusoïdale, ça va être une tension sinusoïdale.

Notes

Summary

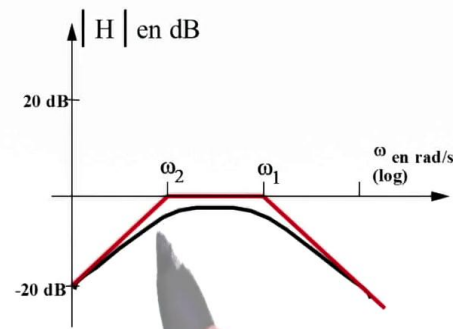
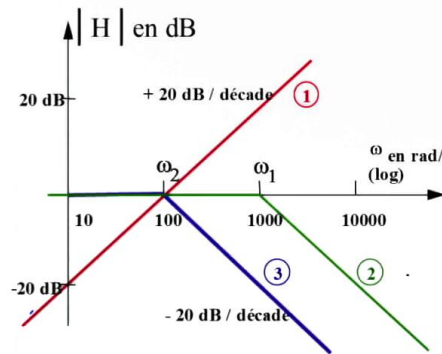
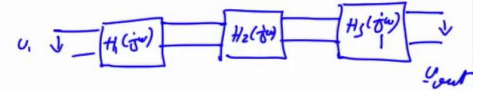


Exemple

$$\underline{H}(j\omega) = \frac{1}{(1 + j\frac{\omega}{\omega_1})(1 + j\frac{\omega}{\omega_2})}$$

$$\omega_2 = 100 \text{ rad/s}$$

$$\omega_1 = 1000 \text{ rad/s}$$



Electronique I

Je fais varier ma pulsation de cette tension. J'observe la pulsation à la sortie. Et je vais voir l'ensemble de ce diagramme de Bode qui va influencer la tension de sortie. Alors si vous tracez individuellement la fonction rouge, donc celle qui est ici. Donc ça c'est le $H_1(j\omega)$. Là, c'est le $H_2(j\omega)$. Et là, c'est le $H_3(j\omega)$. Et c'est $H_1(j\omega)$, $H_2(j\omega)$, $H_3(j\omega)$. Si vous prenez les trois fonctions et que vous les additionnez, donc on a tracé la première. On va tracer la seconde. Donc je n'ai qu'à prendre $1/(1+j(\omega/\omega_2))$ qui correspond à ce diagramme asymptotique. Là, je n'ai pas tracé le diagramme réel, je me suis contenté de garder le diagramme asymptotique. Et j'ai fait pareil pour le deuxième qui a la même forme, $1/(1+j(\omega/\omega_1))$, mais j'ai ω_2 , ω_1 . Le ω_1 se trouve à 1000 rad/s, ω_2 se trouve à 100 rad/s. Et je n'ai qu'à additionner ces trois courbes ensemble. Donc je vais prendre +20 dB/décade qui va s'ajouter tout le temps à 0. Je vais le trouver ici. Jusqu'à ω_2 , j'ai que la courbe 1 qui domine. Les deux autres m'ont donné un diagramme asymptotique égal à 0. Donc je ne vois pas du tout d'effet, je trace cette pente.

Notes

Summary



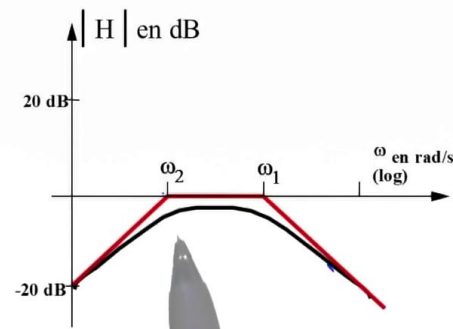
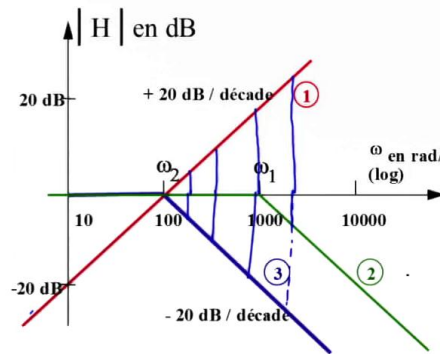
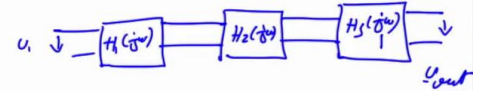
29m 30s

Exemple

$$\underline{H}(j\omega) = \frac{1}{(1 + j\frac{\omega}{\omega_1})(1 + j\frac{\omega}{\omega_2})}$$

$$\omega_2 = 100 \text{ rad/s}$$

$$\omega_1 = 1000 \text{ rad/s}$$



Electronique I

À partir de là, je vais additionner cette quantité-là à cette quantité-là chaque fois et c'est la même quantité. J'ai +20 dB/décade - 20 dB/décade, ça va me donner 0 dB/décade. Donc ça donne un diagramme de Bode plat jusqu'à ce que j'arrive ici, ω_1 . L'asymptote ici, j'ai d'un côté +20 dB, j'ai de l'autre côté -20 dB, mais à partir de là, j'ai +20 dB - 20 dB/décade et aussi un deuxième -20 dB/décade, donc ça va me donner -20 dB/décade ici. Et quand j'additionne tout ça, vous voyez en rouge le diagramme asymptotique de l'ensemble de cette fonction et vous voyez dessous les valeurs qui auraient été mesurées si vous aviez pris la tension de sortie et que vous l'aviez mesurée par rapport à la tension d'entrée, vous auriez vu qu'à basse fréquence, la tension de sortie est basse par rapport à celle d'entrée et puis elle va être amplifiée, amplifiée, amplifiée et elle arrive au point ω_2 et j'ai une atténuation de -3 dB ici. Pareil à ω_1 . Et je trouve la courbe réelle qui passe juste en-dessous du diagramme asymptotique.

Notes

Summary

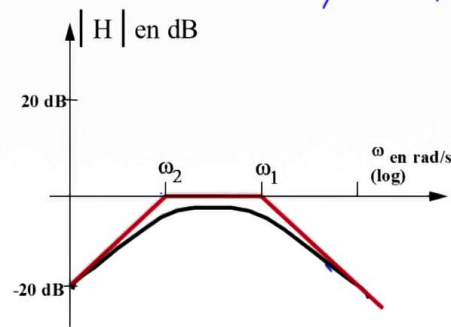
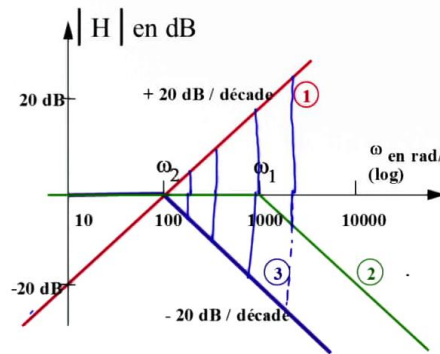
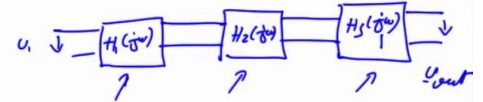


Exemple

$$\underline{H}(j\omega) = \frac{1}{(1 + j\frac{\omega}{\omega_1})(1 + j\frac{\omega}{\omega_2})}$$

$$\omega_2 = 100 \text{ rad/s}$$

$$\omega_1 = 1000 \text{ rad/s}$$



Electronique I

Et après, ça repart asymptotiquement sur -20 dB/décade donc les fréquences augmentent quand j'arrive jusqu'à ω_2 , restent plus ou moins constantes et après, ça commence à s'atténuer. Et là, les pulsations entre ω_2 et ω_1 donnent une partie où plus ou moins j'ai le gain le plus élevé, on appelle ça filtre passe-bande, où je laisse passer une bande-fréquence fréquentielle entre les deux pulsations ω_2 et ω_1 , sinon j'atténue de part et d'autre ce qui se passe avec. Donc on voit la puissance de cette représentation et on voit la puissance le jour où chaque fonction que vous voyez là devient une fonction électronique que nous allons réaliser avec les circuits électroniques. Et quand on les place l'un derrière l'autre, nous n'avons pas besoin d'analyser tout le circuit, il suffit d'en analyser un indépendamment de l'autre, tracer le diagramme de Bode et voir tout ça en additionnant simplement graphiquement ce qui se passe.

Notes

Summary



Diagramme de Bode - argument ou phase

$$\underline{H}(j\omega) = K \frac{j\frac{\omega}{\omega_{zo}} (1 + j\frac{\omega}{\omega_{z1}}) (1 + j\frac{\omega}{\omega_{z2}}) \dots (1 + j\frac{\omega}{\omega_{zk}})}{j\frac{\omega}{\omega_{po}} (1 + j\frac{\omega}{\omega_{p1}}) (1 + j\frac{\omega}{\omega_{p2}}) \dots (1 + j\frac{\omega}{\omega_{pl}})}$$



$$\text{Arg}(\underline{H}(j\omega)) = \text{Arg}(K) +$$

$$\text{Arg}(j\frac{\omega}{\omega_{zo}}) + \text{Arg}(1 + j\frac{\omega}{\omega_{z1}}) + \text{Arg}(1 + j\frac{\omega}{\omega_{z2}}) + \dots + \text{Arg}(1 + j\frac{\omega}{\omega_{zk}}) +$$

$$\text{Arg}(\frac{1}{j\frac{\omega}{\omega_{po}}}) + \text{Arg}(\frac{1}{1 + j\frac{\omega}{\omega_{p1}}}) + \text{Arg}(\frac{1}{1 + j\frac{\omega}{\omega_{p2}}}) + \dots + \text{Arg}(\frac{1}{1 + j\frac{\omega}{\omega_{pl}}})$$

Electronique I

Maintenant qu'on a bien analysé ce qui se passe avec la fonction de Bode module, donc on a regardé pour une fonction de transfert dans un diagramme de Bode module, il va nous décrire ce qui se passe avec la tension de sortie en termes d'amplitude par rapport à la tension d'entrée en termes d'amplitude. Je reprends la même forme ou les mêmes formes canoniques. Je les représente une deuxième fois et je vais m'intéresser maintenant à la phase. Donc j'ai un nombre complexe. Si j'ai un nombre complexe réel, le K que vous voyez là, je vais chercher l'argument d'un nombre réel, donc l'arc tangente de K . Sinon, s'il s'agit d'un nombre complexe $j(\omega/\omega_{ZO})$, je vais chercher l'argument d'une fonction de transfert qui est imaginaire pur et je ferais pareil pour tout le reste et je sais que les arguments vont s'additionner.

Notes

Summary



Diagramme de Bode - argument ou phase

$$\underline{H}(j\omega) = K \frac{j\frac{\omega}{\omega_{zo}} (1 + j\frac{\omega}{\omega_{z1}}) (1 + j\frac{\omega}{\omega_{z2}}) \dots (1 + j\frac{\omega}{\omega_{zk}})}{j\frac{\omega}{\omega_{po}} (1 + j\frac{\omega}{\omega_{p1}}) (1 + j\frac{\omega}{\omega_{p2}}) \dots (1 + j\frac{\omega}{\omega_{pl}})}$$



$$\text{Arg}(\underline{H}(j\omega)) = \text{Arg}(K) +$$

$$\text{Arg}(j\frac{\omega}{\omega_{zo}}) + \text{Arg}(1 + j\frac{\omega}{\omega_{z1}}) + \text{Arg}(1 + j\frac{\omega}{\omega_{z2}}) + \dots + \text{Arg}(1 + j\frac{\omega}{\omega_{zk}}) +$$

$$\text{Arg}(\frac{1}{j\frac{\omega}{\omega_{po}}}) + \text{Arg}(\frac{1}{1 + j\frac{\omega}{\omega_{p1}}}) + \text{Arg}(\frac{1}{1 + j\frac{\omega}{\omega_{p2}}}) + \dots + \text{Arg}(\frac{1}{1 + j\frac{\omega}{\omega_{pl}}})$$

Electronique I

Donc pareil, comme les modules, en s'intéressant à l'argument, on va se trouver avec des arguments qui vont nous donner des diagrammes où si on trace indépendamment l'un de l'autre et que nous additionnons graphiquement, nous avons ce qui va se passer avec l'ensemble de cette fonction une fois réalisée par des fonctions électroniques séparées dont on maîtrise la forme canonique à la fois en forme mathématique avec un nombre complexe et à la fois en termes d'implémentation électronique donc quel type de circuit le réalise, qui sera étudié dans le cours d'électronique.

Notes

Summary

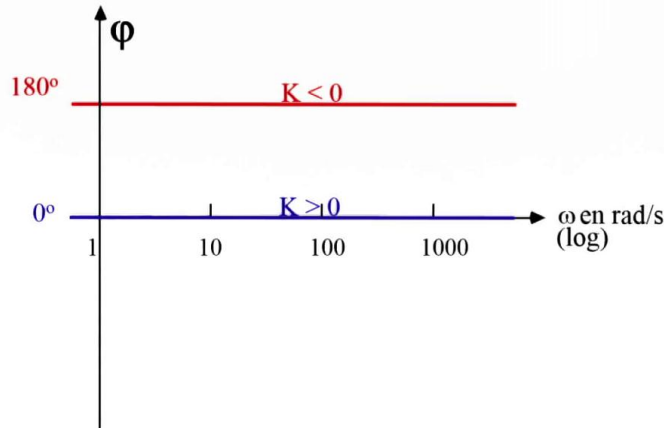


Argument de $H(j\omega) = K = \text{constante}$

Argument de $H(j\omega) = K = \text{constante}$

$\text{Arg}(K) = 0$, pour $K > 0$

$\text{Arg}(K) = \pi$, pour $K < 0$



Electronique I

Je commence par une fonction de transfert où c'est un réel pur. Donc j'ai *arc tangente* d'une fonction réelle pure et je sais que si l'argument est égal à 0, je suis sur l'axe des réels, eh bien, je peux dire que la valeur, l'axe 0, c'est cet axe-là, là, j'ai les ω et là, j'ai la phase. Et si la fonction K est négative, donc si je mets un amplificateur qui a un gain positif. Donc prenons un quadripôle et mettons un gain positif, par exemple égal à 10. Si c'est un réel pur égal à 10 par exemple, donc il est strictement positif, je vais me trouver avec la tension U_2 et la tension U_1 qui sont en phase. Les tensions ne seront pas déphasées. Par contre, si cette constante K est négative, je vais être déphasé de 180 degrés, donc j'ai un inverseur. Donc nous allons parler d'un gain positif ou gain négatif. Et le gain positif me donne l'axe des x, il n'y a pas de déphasage. Et sur cet axe-là où j'ai rapporté les phases, si le gain est négatif, je vais avoir un déphasage de 180 degrés, de π , ça signifie que j'ai inversé la tension de sortie par rapport à la tension d'entrée. On appelle ça *inverseur*.

Notes

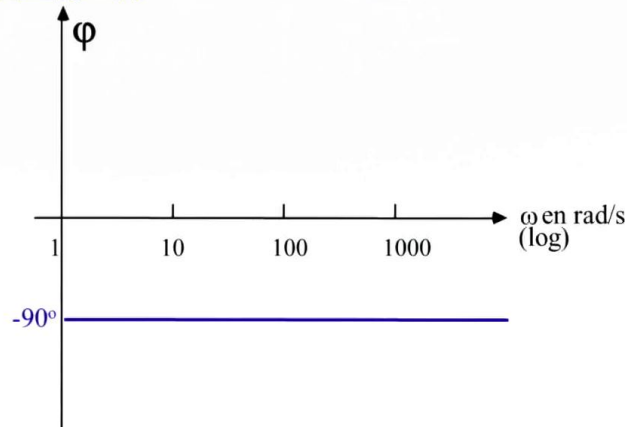
Summary



Fonction imaginaire

$$H(j\omega) = \frac{1}{j\omega\omega_{p0}}$$

$$\text{Arg}(H(j\omega)) = -\pi/2 \text{ ou } -90^\circ$$



Electronique I

Dans le même ordre que j'ai effectué l'analyse pour les modules, je vais les faire pour les phases. Donc là, je prends la forme canonique $j(\omega/\omega_{Z0})$, c'est un imaginaire pur, et je vais analyser ce qui se passe avec. Eh bien, vous verrez, c'est très simple. On sait que l'on est sur l'axe des imaginaires et je vais avoir un déphasage égal à $\pi/2$. Donc l'imaginaire pur, l'axe des imaginaires va me donner un déphasage de $\pi/2$. Donc une fonction telle que celle-ci, quand on va réaliser avec de l'électronique, à chaque fois que je change la pulsation, je vais trouver à la sortie un déphasage égal à une constante égale à 90 ou à $\pi/2$ comme phase. Je vais prendre son inverse, donc $1/j(\omega/\omega_{P0})$. Là de nouveau, c'est l'*arc tangente* de 1 moins l'*arc tangente* de la partie qui se trouve au dénominateur qui va sûrement me donner un déphasage de $-\pi/2$. Donc je me trouve avec un déphasage de $-\pi/2$, ce qui veut dire que la tension de sortie par rapport à la tension d'entrée, dans mon quadripôle, a eu un retard de phase qui est égal à $\pi/2$.

Notes

Summary



Fonction Réelle et Imaginaire

$$H(j\omega) = 1 + j \frac{\omega}{\omega_{z1}}$$

$$\text{Arg}(H(j\omega)) = \text{Arctg} \left(\frac{\omega}{\omega_{z1}} \right)$$

1^{ère} asymptote $\rightarrow \lim_{\omega \rightarrow \infty} H(j\omega) = j \frac{\omega}{\omega_{z1}} \quad (\text{Im})$

2^{ème} asymptote $\rightarrow \lim_{\omega \rightarrow 0} H(j\omega) = 1 \quad (\text{Re})$

Valeur particulière $\rightarrow \text{Arg}(H(j\omega)) = 45^\circ = \pi/4$
($\omega = \omega_{z1}$)

Electronique I

Une fonction un tout petit peu plus élaborée, j'ai une partie réelle et une partie imaginaire. Alors l'*arc tangente* de ceci va être bien sûr $\text{Arctg}(\omega/\omega_{z1})$. Donc de nouveau, je vais tracer la fonction $\text{arctg}(\omega/\omega_{z1})$, qui est très connue, qui possède une asymptote lorsque ω tend vers l'infini. Donc si ce terme est égal à infini, la partie imaginaire est beaucoup plus déterminante que la partie réelle qui est égale à 1, donc je peux simplifier ce 1 et je me trouve avec le nombre complexe $j(\omega/\omega_{z1})$ dont l'arc tangente, c'est ce qu'on vient de tracer tout à l'heure lorsqu'on a tracé la première asymptote de $j(\omega/\omega_{z1})$, c'est imaginaire pur. Pareil lorsque ω tend vers 0, ce terme, ou cette fonction de transfert, devient réelle pure et est égale à 1. Donc on a deux asymptotes et on refait pareil, comme dans le module, on met ω égal à ω_{z1} et je vais trouver le nombre complexe $1+j$, qui correspond à un déphasage de 45 degrés, qui est égal à $\pi/4$ bien sûr.

Notes

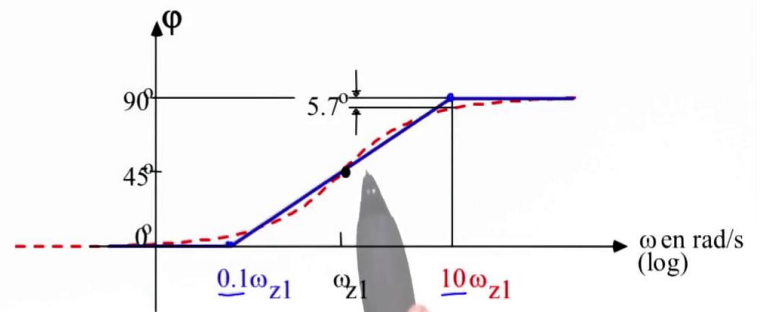
Summary



38m 02s

Approximation autour de $\omega = \omega_{z1}$

- On approxime souvent le diagramme des phases par une droite partant d'un déphasage nul pour $\omega = 0.1\omega_{z1}$ pour atteindre un déphasage de 90° en $\omega = 10\omega_{z1}$.



Electronique I

Et voici le diagramme de Bode phase d'une telle fonction. Donc asymptotiquement, j'ai cet axe et j'ai cet axe. On avait trouvé qu'il y a l'axe des x , donc l'axe des ω , et on a un déphasage de 90 degrés, de $\pi/2$, qui va être le deuxième axe. Maintenant, on a un point particulier lorsque l'on a la pulsation ω égale à ω_{Z1} qui correspond à ce point. Pour tracer le diagramme asymptotique qui correspond à un diagramme réel que vous voyez en traitillé juste dessous, nous multiplions la valeur particulière ω égale ω_{Z1} par 10 et nous le divisons par 10. Donc on a ce point-là et ce point-là et on trace cette droite bleue entre $10\omega_{Z1}$ et $1/10\omega_{Z1}$ et ça nous donne en bleu le diagramme asymptotique phase de la fonction $1+j(\omega/\omega_{Z1})$. Et la courbe réelle, quand on la trace par calculatrice ou par ordinateur, ou qu'on mesure les valeurs parce qu'on a réalisé les circuits électroniques qui le fait, nous allons voir que ça part asymptotiquement sur l'axe des x . On va avoir la courbe qui passe de l'autre côté de cette droite jusqu'à ω_{Z1} . Il repassera par dessus cette droite et pour revenir et repartir asymptotiquement là-dessus.

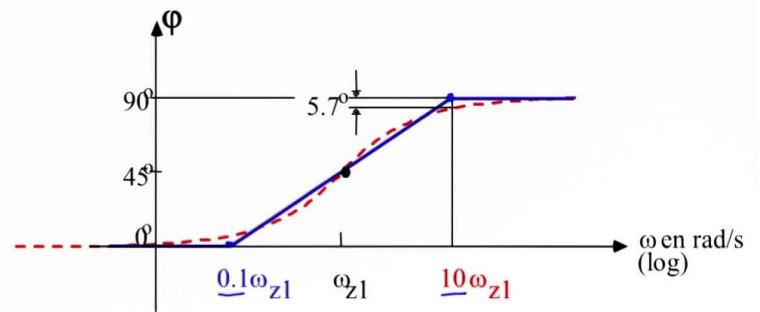
Notes

Summary



Approximation autour de $\omega = \omega_{z1}$

- On approxime souvent le diagramme des phases par une droite partant d'un déphasage nul pour $\omega = 0.1\omega_{z1}$ pour atteindre un déphasage de 90° en $\omega = 10\omega_{z1}$.



Electronique I

Et l'erreur est de 5,7 degrés lorsqu'on est à $10\omega_{z1}$ et $0,1\omega_{z1}$. Donc en pratique, on se contente, pour des esquisses manuelles, au diagramme asymptotique et on connaît parfaitement ce qui se passe avec la courbe réelle, avec cette erreur réelle qu'on a par rapport à ce point $10\omega_{z1}$, qui correspond à l'ordre de grandeur de six degrés inférieur ou supérieur selon où l'on se retrouve. Et sinon, on va se retrouver par rapport à la droite asymptotique de part et d'autre selon où l'on se retrouve dans ω_{z1} . Mais pour les esquisses, on fait la courbe en bleu. Et pour les mesures, on trouve cette courbe qui est approximée par la courbe qui est en bleu.

Notes

Summary

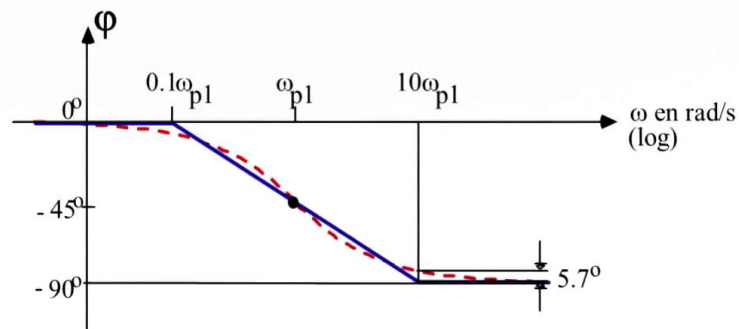


40m 56s

Fonction Réelle et Imaginaire

$$\underline{H}(j\omega) = \frac{1}{1 + j\frac{\omega}{\omega_{p1}}}$$

$$\text{Arg}(\underline{H}(j\omega)) = -\text{Arg}\left(1 + j\frac{\omega}{\omega_{p1}}\right)$$



Electronique I

Et vous avez aussi très bien saisi que si vous prenez le 1 sur la fonction qu'on vient de tracer, il suffit de prendre la même courbe, mettre un signe moins devant l'argument et vous vous retrouvez avec symétrie axiale, donc on retrouve la même explication, cette même explication réapparaît avec symétrie axiale par rapport aux axes des x.

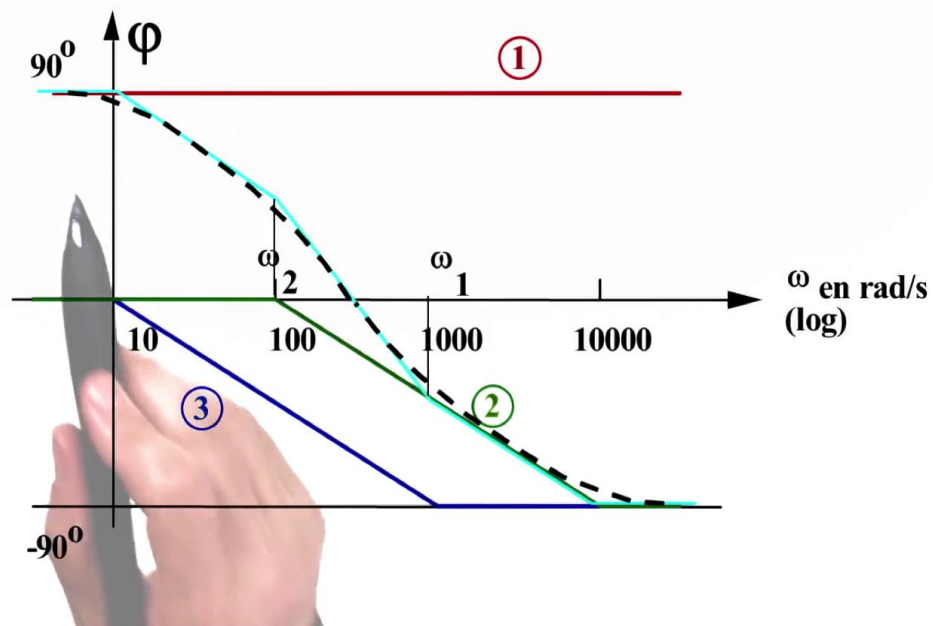
Notes

Summary



41m 43s

Exemple



Electronique I

Et pour finir, l'exemple qui a été donné et tracé pour le module de fonction de transfert, je le reprends pour le retracer pour l'argument de cette fonction de transfert. Donc vous retrouvez nos trois formes canoniques. Vous retrouvez des exemples pour ω_1 et ω_2 . Pour ce qui est en rouge, on trouve un déphasage de 90 degrés. Pour les deux, le $1/(1+j(\omega/\omega_1))$ et $1/(1+j(\omega/\omega_2))$, eh bien, on trouve les deux diagrammes asymptotiques qui ont la même forme mais décalée. Pour ω_1 , on se trouve à 45 degrés ici. Pardon, pour ω_2 . Et pour ω_1 , on se retrouve toujours à -45 degrés pour la deuxième courbe, sinon la forme de la courbe est la même et je n'ai qu'à additionner graphiquement ceci. Donc je vais ajouter graphiquement ces trois courbes et je vais trouver la fonction de Bode phase de cette fonction de transfert qui serait celle-ci. La voilà. J'ai additionné ici avec la courbe qui est en bleu clair, ou en cyan. Vous voyez le diagramme asymptotique. Et là, ce qui est en traitillé correspond à la fonction réelle de la phase. Nous partons à basses fréquences avec une phase égale à $\pi/2$.

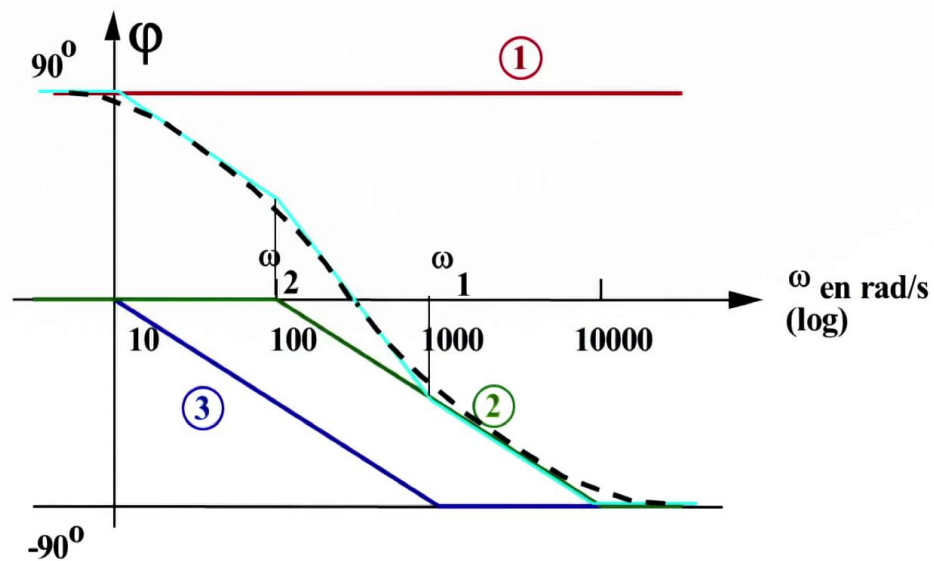
Notes

Summary



42m 07s

Exemple



Electronique I

Et quand la fréquence augmente et la pulsation est au-delà de l'ordre de grandeur de 10 000, nous commençons à avoir un déphasage de $-\pi/2$. Et entre les deux, la phase change de telle manière selon l'addition de ces trois courbes qui correspondront, en réalité, à trois fonctions électroniques placées les unes derrières les autres. On vient de voir, dans cette annexe qui a été ajoutée à ce MOOC, l'ensemble des diagrammes de Bode canoniques qui seraient utilisés dans ce MOOC. Donc ces diagrammes de Bode nous permettent après de trouver des fonctions électroniques. Et lorsqu'on les réalise, ça nous permettrait de comprendre facilement le comportement fréquentiel uniquement en analysant les diagrammes de Bode module et phase de chaque fonction électronique, que ça soit dérivateur, intégrateur, ou un gain simple, donc ces fonctions linéaires qui seraient données comme exemples dans le cadre de ce cours. Ceux qui n'ont pas suivi un cours sur les fonctions de Bode, on leur permet de comprendre ceci. Donc c'est une annexe à ce MOOC.

Notes

Summary



43m 37s