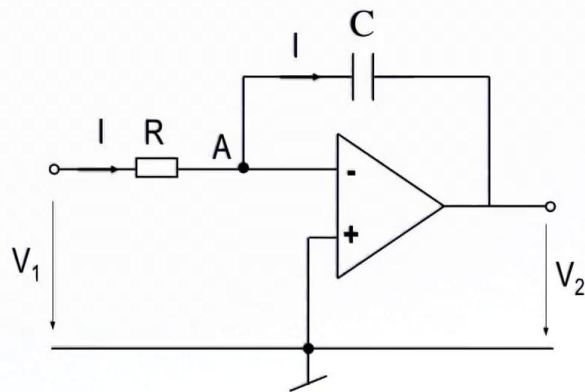


Intégrateur inverseur de tension



Notes

Nous avons étudié l'amplificateur dont le gain ne dépend absolument pas de la fréquence. Donc on avait vu qu'en utilisant des résistances comme contre-réaction, le gain d'un amplificateur opérationnel est une relation linéaire entre la sortie et l'entrée, et qu'il n'y a absolument aucune dépendance entre la fréquence et ce qui va se passer avec le niveau de tension entre l'entrée et la sortie. Nous allons aborder aujourd'hui un autre thème, ça va être : que se passe-t-il si les composants qu'on utilise pour contre-réactionner l'amplificateur contiennent, par exemple, des capacités ? Donc on a une capacité et on sait bien que la capacité possède une impédance et que cette impédance dépend de la fréquence. Alors on va voir ce qui va se passer et nous verrons que ceci nous amène à découvrir ce que c'est que la fonctionnalité d'un filtre, comment est-ce qu'on peut utiliser l'amplificateur opérationnel pour faire du filtrage de fréquence et agir sur le diagramme de Bode qu'on obtient pour décrire la relation de l'entrée à la sortie et positionner des pôles et des zéros dans ce diagramme de Bode en fonction de la valeur de nos composants. Voici un circuit qu'on appelle l'intégrateur.

Summary

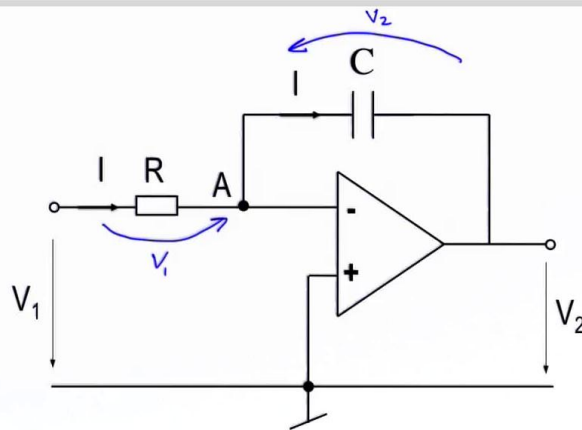


Intégrateur inverseur de tension

$$I = \frac{V_1}{R}$$

$$i = C \cdot \frac{du}{dt}$$

$$i = C \cdot \frac{dV_2}{dt}$$



Electronique I

Ça vous rappelle bien sûr ce que c'est qu'un amplificateur inverseur. Vous avez vu que l'amplificateur inverseur possède une entrée négative connectée à la masse et on a un élément de contre-réaction que dans un amplificateur inverseur ayant un gain indépendant de la fréquence, là, on avait posé une résistance. Là, on remplace la résistance par une capacité et on garde la résistance qui était ici. Donc on va aborder ça pour analyser ce qui va se passer. Je vous rappelle que le courant d'entrée, I , va toujours être proportionnel à cette tension, V_1 , divisée par la valeur de la résistance aux bornes de laquelle je regarde le courant V_1 . J'observe ce même courant I qui passe dans la capacité. Là, ça va changer. Ce courant i va être égal à $C \cdot du/dt$. Dans le domaine temporel, une capacité lie le courant à la tension à ses bornes par un effet dérivatif de la tension. En l'occurrence cette tension du , c'est la tension V_2 . Je vous rappelle que la tension V_2 , c'est celle ici, exactement ce qu'on avait observé avant, donc cette tension V_2 . Donc je n'ai qu'à écrire que ce courant i est égal à $C \cdot dV_2/dt$. Eh bien, ce courant i c'est bien le même courant I qu'on a observé ici, qui relie V_1 à R .

Notes

Summary

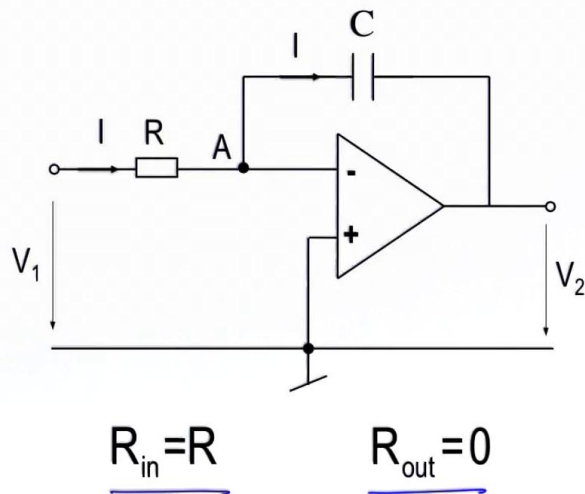


1m 16s

Intégrateur inverseur de tension

$$I = \frac{V_1}{R} = -C \frac{dV_2}{dt}$$

$$V_2 = -\frac{1}{RC} \int_0^t V_1 dt$$



Electronique I

En analysant ce qu'on voit sur ce schéma et ces quelques relations qui sont écrites là-dessus, eh bien, nous allons tomber sur la chose suivante : Nous allons découvrir que la tension V_1/R égal $-CdV_2/dt$. En regardant la valeur de V_2 en fonction de V_1 , forcément, on va tomber sur une relation d'intégrale. Ceci veut dire que votre tension V_2 observe ou décrit en temps réel l'intégrale de la tension $V_1 dt$ multiplié par $1/RC$ et bien sûr, il y a ce signe négatif toujours dû au fait que la tension V_2 est positive dans ce sens-là et le courant I est positif dans ce sens-ci. L'impédance d'entrée reste celle d'un amplificateur inverseur, à savoir $R(in)$ égal à R . L'impédance de sortie reste égale à 0 parce qu'elle est assurée par votre amplificateur opérationnel.

Notes

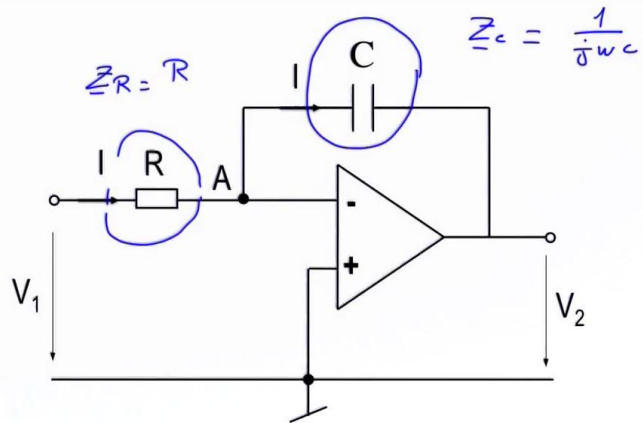
Summary



$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{Z_C}{Z_R} = \frac{1}{j\omega \cdot R \cdot C}$$

$$H = \frac{1}{j\omega \cdot R \cdot C} = \frac{1}{j\omega/\omega_0}$$

$$\omega_0 = \frac{1}{RC}$$



Electronique I

J'aimerais bien reprendre la même chose mais analyser ce qui se passe en régime sinusoïdal. Donc en régime sinusoïdal, on peut remplacer la capacité par son impédance complexe. Donc au lieu d'écrire la relation temporelle de la capacité qui relie courant à la dérivée de la tension, on va remplacer ça par une impédance Z_C , et cette impédance $Z_C = 1/j\omega C$. Pareil pour la résistance R . Cette résistance R , je la remplace par son impédance complexe Z_R qui est réelle pure et qui est égale à la valeur de la résistance R . On avait analysé le montage inverseur et on avait vu que quand on veut relier la tension de sortie complexe, parce qu'on avait qu'un régime sinusoïdal pour une tension sinusoïdale, à la tension d'entrée V_1 , on avait écrit, on a découvert que c'est un rapport de cette impédance divisée par cette impédance. Alors je vais écrire clairement que c'est l'impédance Z_C divisée par l'impédance Z_R . Donc ceci est égal à $1/j\omega RC$. Je découvre donc que la relation entre la tension sinusoïdale que j'observe à la sortie par rapport à la tension sinusoïdale que je vois à l'entrée, c'est une fonction de transfert que j'appelle H , je suis dans le monde complexe, qui est égal à $1/j\omega RC$, que j'écris généralement comme étant $1/j\omega$ sur ω_0 , en notant bien que $\omega_0 = 1/RC$.

Notes

Summary



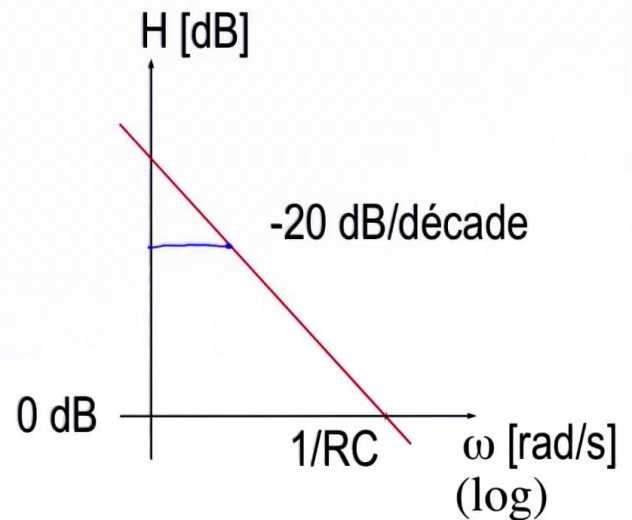
3m 56s

Régime sinusoïdal

- Fonction de transfert :

$$\underline{H}(j\omega) = \frac{V_2}{V_1} = -\frac{\underline{Z}_2}{\underline{Z}_1} \quad Z_1 = R \quad \underline{Z}_2 = \frac{1}{j\omega C}$$

$$\underline{H}(j\omega) = \frac{V_2}{V_1} = -\frac{1}{j\omega RC} \quad Z_{in} = R_1 \quad Z_{out} = 0$$



Electronique I

Voici le résumé de ce qu'on vient de voir et de ce qu'on vient de calculer. Nous avons une fonction de transfert $H(j\omega)$ qui est égale à $-1/j\omega RC$. Quand on avait analysé le diagramme de Bode d'une telle fonction, si vous vous souvenez bien, le diagramme de Bode d'une fonction qui est imaginaire pure avec l'imaginaire qui se trouve dans le dénominateur, c'est une pente égale à -20dB/décade et ceci correspond à l'effet intégrateur pour une tension sinusoïdale. Donc si vous voulez observer une tension sinusoïdale qui est intégrée, vous devez absolument aller là, où la pente est égale à -20dB/décade . Pourquoi j'insiste là-dessus ? Parce que tout à l'heure, vous verrez que ce genre d'intégrateur il est toujours utilisé avec une résistance qu'on va poser en parallèle avec la capacité C . Pour avoir un certain gain qu'on appelle un gain DC qui va ici décrire un plateau dans le diagramme asymptotique là-dessus et ceci veut dire que quand j'ai une fonction de ce style-là, la courbe bleue est une valeur constante. Après je tombe sur cette pente de -20dB/décade , eh bien, il faudra aller au-delà de ce pôle, se placer en tout cas dix fois supérieur à la valeur du pôle de la fonction de transfert, quelque part ici pour observer la valeur de l'intégration d'une tension sinusoïdale placée à l'entrée et voir l'intégrale à la sortie.

Notes

Summary

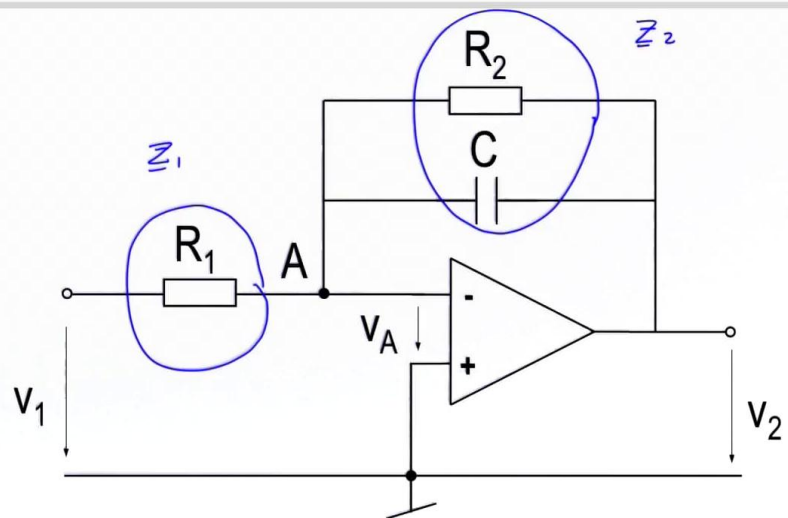


Filtre actif passe-bas du 1er ordre

$$Z_2 = R_2 \parallel C$$

$$\frac{1}{Z_2} = \frac{1}{R_2} + j\omega C$$

$$Z_2 = \frac{R_2}{1 + j\omega R_2 C}$$



Electronique I

Voici pour reprendre ce que je viens de décrire. J'ai pris mon intégrateur. Je vois ma capacité en contre-réaction entre la sortie et l'entrée et sur la borne négative et je vois ma résistance R_1 , qui est la résistance d'entrée de ce montage. J'ai ajouté la résistance R_2 en parallèle avec la capacité ici. Je vais écrire la fonction de transfert de ceci. Toujours, quand on a affaire à ce genre de montage, nous prenons l'impédance qui est en contre-réaction et nous l'exprimons dans le domaine complexe. Nous faisons pareil avec l'impédance qui se trouve aussi ici et nous l'exprimons avec son impédance complexe. Donc je vais appeler cette impédance complexe Z_2 . Je vais appeler cette impédance complexe Z_1 et je vais écrire Z_2 et Z_1 . Donc là, l'impédance complexe Z_2 , c'est une impédance qui est la mise en parallèle de R_2 parallèle avec une capacité. Alors je vais écrire $1/Z_2$, pour me faciliter la tâche, qui n'est rien d'autre que $1/R_2 + j\omega C$. Je simplifie ceci. Une fois inversé, je vais trouver que c'est $R_2/1 + j\omega C$. Voici l'impédance Z_2 obtenue.

Notes

Summary



Filtre actif passe-bas du 1er ordre

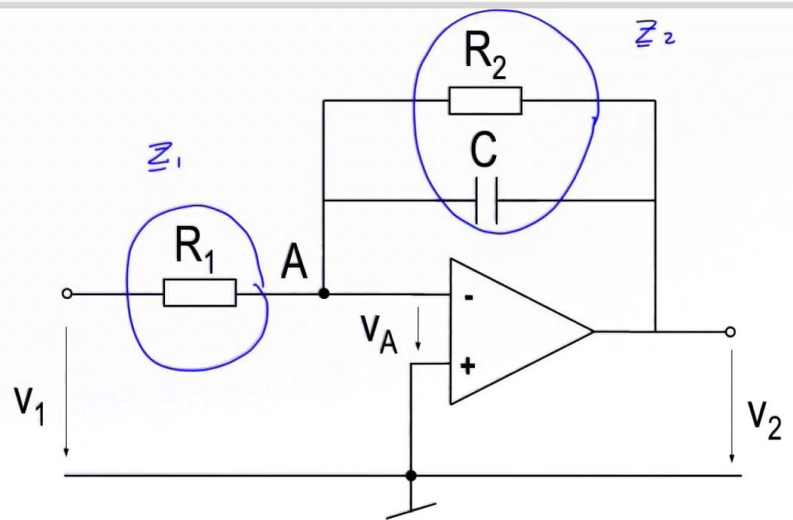
$$Z_2 = R_2 \parallel C$$

$$\frac{1}{Z_2} = \frac{1}{R_2} + j\omega C$$

$$Z_2 = \frac{R_2}{1 + j\omega RC}$$

$$Z_1 = R_1$$

$$H = - \frac{Z_2}{Z_1} = - \frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{1}{1 + j\omega RC}$$



Electronique I

L'impédance Z_1 , c'est très facile : je l'obtiens directement, c'est un réel pur et égal à la résistance R_1 . Et maintenant, il suffit que je fasse le rapport entre cette impédance et cette impédance et j'ajoute un signe négatif devant pour trouver la fonction de transfert H qui est égale à $-Z_2$ divisé par Z_1 . Et je prends Z_2 et Z_1 et je vais pouvoir l'écrire égal à $-R_2$ divisé par R_1 qui multiplie 1 sur $1 + j\omega RC$. Et là, j'ai oublié une résistance R_2 que je rapporte de nouveau devant la capacité R_2 qui multiplie $j\omega C$, que j'avais oubliée avant.

Notes

Summary

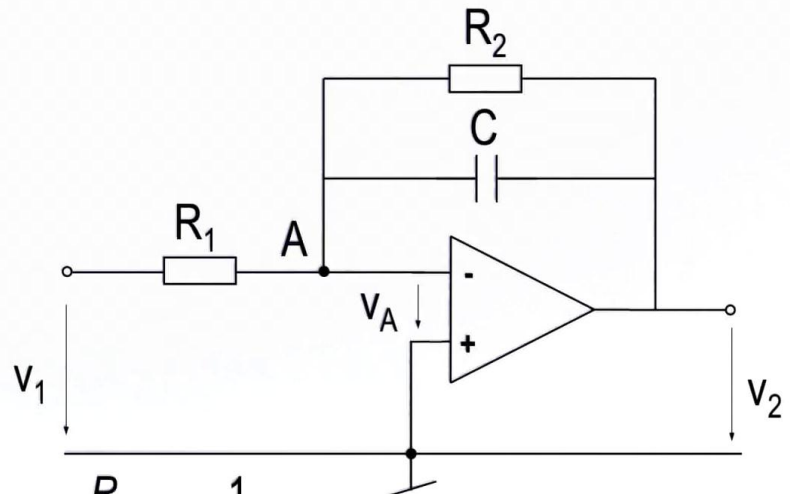


8m 57s

Filtre actif passe-bas du 1^{er} ordre

$$\underline{Z}_2 = \frac{R_2 \frac{1}{j\omega C}}{R_2 + \frac{1}{j\omega C}} = \frac{R_2}{1 + j\omega R_2 C}$$

$$\underline{Z}_1 = R_1$$



$$\underline{H}(j\omega) = -\frac{\underline{Z}_2}{\underline{Z}_1} = -\frac{R_2}{R_1} \frac{1}{1 + j\omega R_2 C} = -\frac{R_2}{R_1} \frac{1}{1 + j\omega / \omega_0} \text{ avec } \omega_0 = 1 / R_2 C$$

Electronique I

Et voici le résumé de ce qu'on vient d'observer et qu'on vient de calculer, écrit proprement avec l'impédance Z_2 , l'impédance Z_1 , la fonction de transfert $-Z_2/Z_1$ et nous tombons sur cette relation qui est un gain clair et net R_2/R_1 . Donc on voit la composante, ou plutôt la valeur qui est comme un inverseur, un amplificateur inverseur, c'est le rapport de R_2 divisé par R_1 qui multiplie une fonction de transfert 1 sur $1 + j\omega$ sur ω_0 et on remplace ω_0 par $1/R_2 C$ et on l'appelle le pôle de la fonction de transfert. Je vais prendre cette fonction de transfert et tracer le diagramme de Bode module de cette fonction de transfert qui est ceci.

Notes

Summary

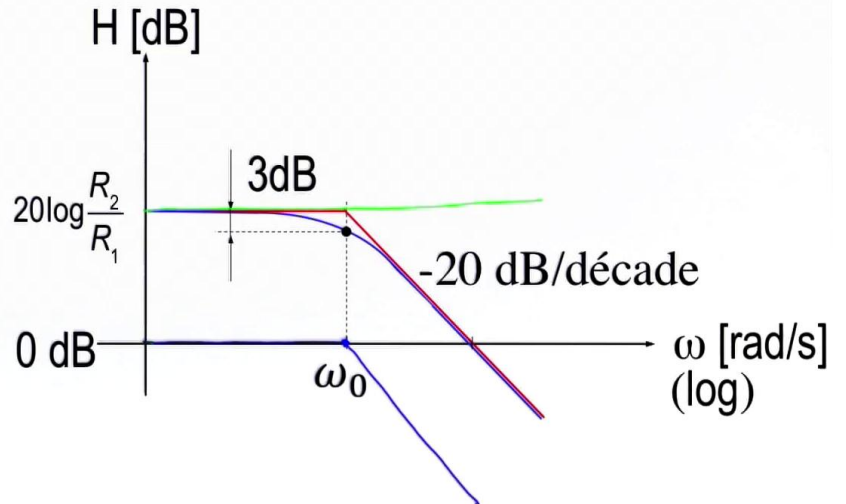


9m 47s

Comportement en fréquences

$$H(j\omega) = -\frac{R_2}{R_1} \frac{1}{1 + j\omega/\omega_0}$$

$$\text{Avec } \omega_0 = 1/R_2 C$$



Electronique I

Je prends la fonction de transfert. Je vais pouvoir la diviser en deux. Je prends la partie verte, R_2/R_1 . C'est une composante qui ne contient pas de ω , donc il n'y a pas d'effet de fréquence là-dessus. Je rappelle que le $\omega = 2 \times \pi \times f$, donc c'est directement proportionnel, la pulsation est proportionnelle à la fréquence. Donc vous avez R_2/R_1 et vous allez pouvoir dire que j'ai $20 \log$ de R_2/R_1 rapporté dans un diagramme de Bode pour tenir compte de l'unité décibel. Je reprends la fonction $1/j\omega/\omega_0$ qui va me donner dans un diagramme asymptotique quelque chose qui est en bleu. Et j'ai le pôle de la fonction de transfert qui se trouve à ω_0 . Connaissant la valeur R_2 et la valeur de C , je vais rapporter ça sur un point et je vais faire le diagramme de Bode asymptotique. Vous trouvez le diagramme de Bode de cette partie-là, en bleu, diagramme asymptotique, et vous trouvez le gain indépendant de la fréquence qui est dans la partie verte qui est ici.

Notes

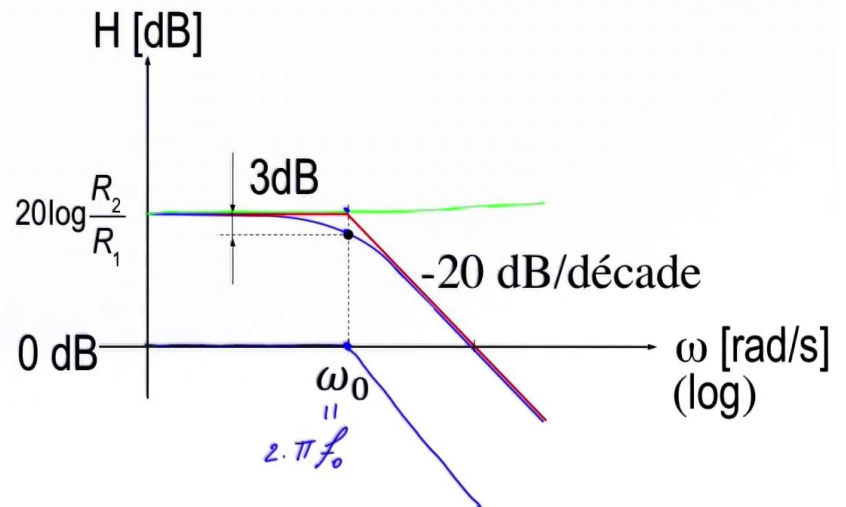
Summary



Comportement en fréquences

$$H(j\omega) = -\frac{R_2}{R_1} \frac{1}{1 + j\omega / \omega_0}$$

Avec $\omega_0 = 1/R_2 C = 2 \cdot \pi f_0$



Electronique I

Et j'effectue l'addition de cette courbe avec cette courbe-là, et je vois la courbe qui est en rouge qui correspond à la somme des deux et le diagramme de Bode qu'on aurait mesuré, il passera à trois décibels par rapport à ce point, donc il y a -3 dB entre le diagramme asymptotique et le diagramme qu'on aurait mesuré et c'est ce qu'on va aller faire dans un laboratoire pour tenir compte des points rapportés et des points qu'on aurait tracés avec un diagramme de Bode asymptotique. On appelle ceci « filtre passe-bas ». Facile à comprendre ce que ça veut dire. Nous reconnaissons une pulsation ω_0 qui est égale à $2 \times \pi \times f_0$, donc f_0 c'est une fréquence, multipliée par 2π , qui nous donne cette valeur et on voit que c'est directement proportionnel à des valeurs $1/R_2 C$. Donc il suffit de choisir une résistance R_2 et C et obtenir directement le $2 \pi \times f_0$. En pratique, ce qu'on fait, nous voulons limiter la bande fréquentielle dans un diagramme asymptotique d'un signal quelconque qui arrive à une valeur f_0 , qui nous donnerait ω_0 , nous savons qu'elle va suivre ce genre d'atténuation, donc elle est multipliée par le gain.

Notes

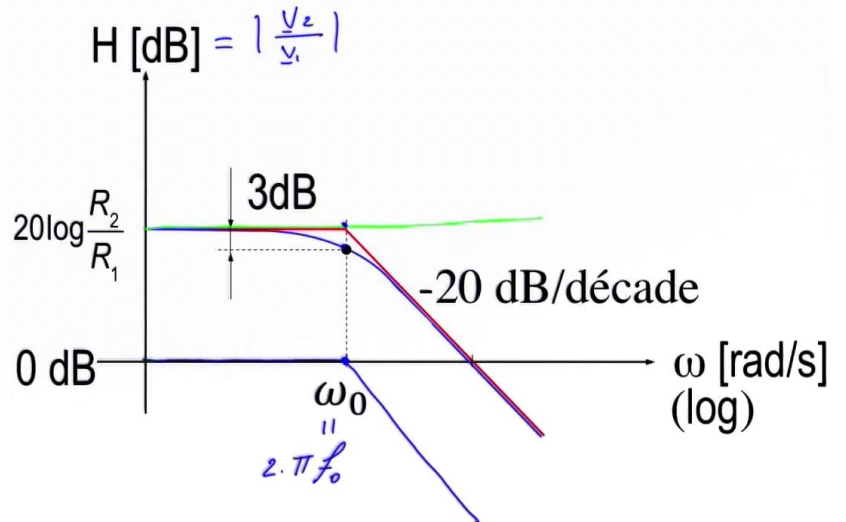
Summary



Comportement en fréquences

$$H(j\omega) = -\frac{R_2}{R_1} \frac{1}{1 + j\omega / \omega_0}$$

$$\text{Avec } \omega_0 = 1/R_2 C = 2 \cdot \pi f_0$$



Electronique I

Et à partir de là, elle va suivre la courbe bleue, donc nous voyons que l'amplitude de sortie, je vous rappelle que ceci est le module de rapport de la tension de sortie sur la tension d'entrée, donc le module c'est l'amplitude de sortie divisée par l'amplitude d'entrée qui va être multiplié par un gain proportionnel à la résistance R_2/R_1 et quand vous commencez à dépasser, sur le diagramme asymptotique, la valeur ω_0 , eh bien, vous allez perdre 20dB à chaque décade. Donc chaque multiplication de la pulsation par une valeur de 10, vous allez perdre 20dB. Vous le voyez par cette relation et cette courbe le décrit. Et on appelle ce genre de filtre, « filtre passe-bas » parce que les fréquences basses sont multipliées par un gain et les fréquences élevées sont atténuées selon la pente que nous observons ici.

Notes

Summary

