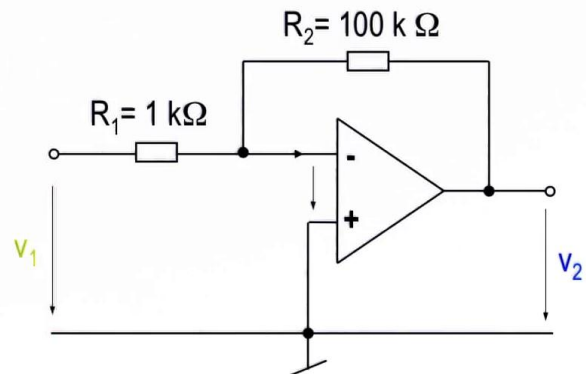


TP: Observation de la bande passante de l'AO



$$A = - \frac{R_2}{R_1} = \frac{v_2}{v_1}$$



Electronique I

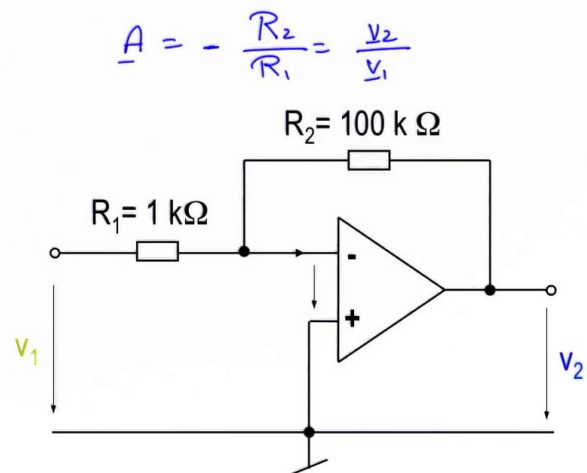
Je vous invite à partir dans un laboratoire, à brancher un amplificateur opérationnel et à faire un gain égal à 100, donc un gain d'un amplificateur branché de cette manière. Je vous rappelle, ce gain en boucle fermée, A égal la résistance R_2 divisée par la résistance R_1 avec un signe moins. Donc ce gain, c'est le rapport de la tension v_2 divisée par la tension v_1 . Et si on parle d'une fonction sinusoïdale, donc on parle d'une fonction de transfert, avec des nombres complexes, on a qu'à regarder que ce gain correspond à une amplification de la tension v_2 et de la tension v_1 par un rapport qui est un rapport de résistance et que ce rapport de résistance dans cet exemple est égal à 100. Ce que vous voyez là, c'est simplement un dB-mètre qui a été branché pour afficher le rapport de v_2/v_1 . Étant donné que $20 \log$ de R_2/R_1 et que le gain est égal à 100, donc c'est 20 fois \log à base 10 de la valeur 100 qui va nous donner l'ordre de grandeur de 40 décibels. Donc on est en train de regarder le gain dans la bande passante de notre amplificateur et on observe qu'il est bel et bien de l'ordre de grandeur de rapport de ces deux résistances.

Notes

Summary



TP: Observation de la bande passante de l'A0



Electronique I

Bien sûr, la petite erreur que vous voyez ici, c'est dû à des problèmes liés à la tolérance des résistances qui ont été utilisées parce qu'il s'agit des mesures exactes dans un laboratoire.

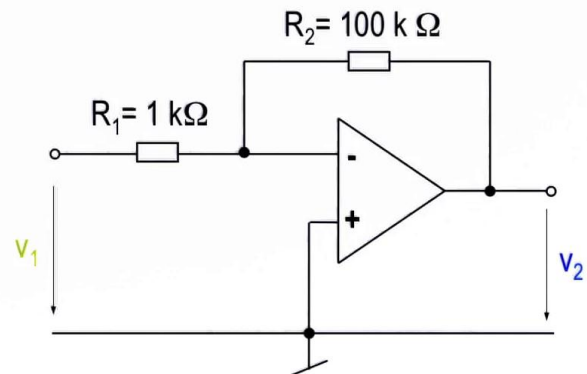
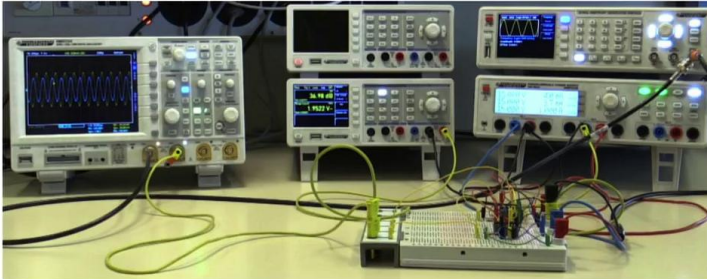
Notes

Summary



1m 30s

TP: Observation de la bande passante de l'AO



Electronique I

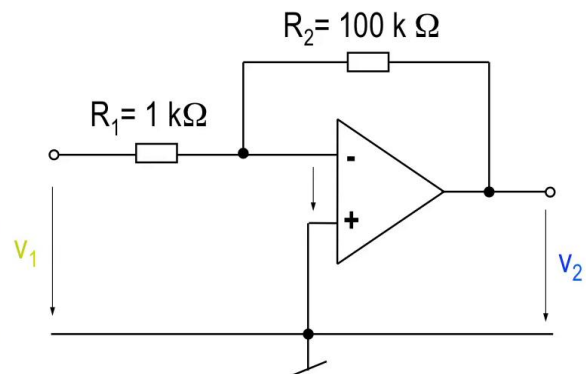
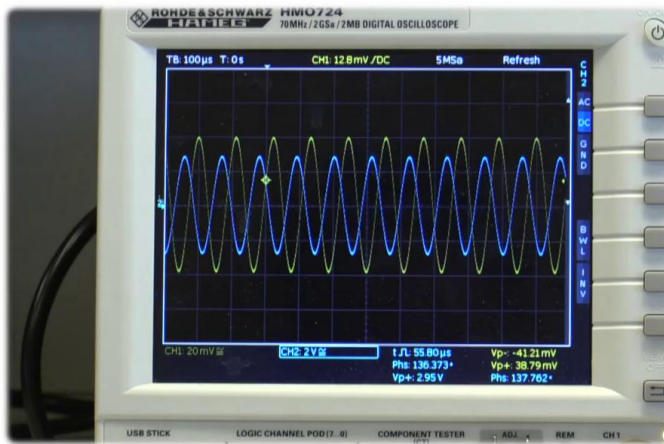
Le même montage avec l'expérience qui a été réalisée. Donc notre ampli est connecté. On voit un oscilloscope qui montre le rapport de la tension v_2/v_1 . On voit ici un dB-mètre qui nous montre le gain de notre amplificateur plus notre générateur de fonction qui injecte une tension sinusoïdale et on observe bel et bien que la tension est sinusoïdale. Alors on va montrer qu'en prenant maintenant la valeur ou plutôt le signal qui est branché, v_1 , et on va changer sa fréquence. Et vous verrez, quand vous changez la fréquence, nous n'allons pas du tout modifier R_2 et R_1 , on va maintenir le même gain. Quand on augmente la fréquence de v_1 , donc la fréquence de v_2 va la suivre, vous allez observer sur l'oscilloscope que la tension v_2 va s'atténuer et elle va suivre le diagramme de Bode que nous avons vu tout à l'heure, qui correspond à un filtre passe-bas. En ayant le même gain et en augmentant la fréquence de v_1 , vous verrez que v_2 va s'atténuer et tendre vers une valeur, si on avait continué, tellement faible que nous ne la verrions pas sur l'écran de l'oscilloscope.

Notes

Summary



TP: Observation de la bande passante de l'A0



Electronique I

On va observer cette fréquence fT . Donc on a, à la sortie et à l'entrée, deux tensions qui sont inversées de phase l'une par rapport à l'autre parce que c'est un inverseur. On est en train d'augmenter la fréquence de la tension d'entrée. Observez la tension en bleu, qui est celle à la sortie, qui est en train de disparaître. En effet, c'est que l'amplificateur qui est en train d'agir là-dessus et on le voit complètement disparaître à cause de sa fonction de transfert telle qu'on l'a vue juste avant. Maintenant, on revient dans l'autre sens et on va aller chercher le -3dB pour trouver quel est le pôle dominant. Donc on va changer la fréquence de notre tension d'entrée et on va aller jusqu'à une atténuation de 3dB. Regardez la tension de sortie, elle est atténuée de 3dB, c'est la pulsation propre à l'amplificateur opérationnel à laquelle l'ampli commence à atténuer maintenant à coups de 20dB/décade. Donc ce genre d'effet est un effet très, très connu dans l'amplificateur et est lié à sa structure interne.

Notes

Summary

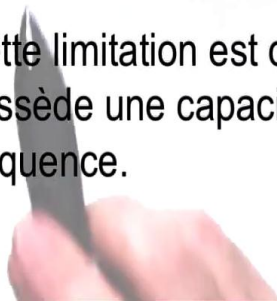


Variation maximum du signal de sortie

- Slew rate

$$S_r = \left| \frac{dv_2}{dt} \right|_{\max} = \frac{i_{\max}}{C}$$

- S_r est exprimé en V/ μ s
- Cette limitation est due au fait que le circuit interne de l'amplificateur possède une capacité C pour la compensation de sa réponse en fréquence.



Electronique I

Une autre limitation d'un amplificateur opérationnel, on l'appelle la variation maximale de la tension à la sortie. Malheureusement, et pour des raisons de stabilité de l'amplificateur opérationnel, nous sommes obligés d'ajouter une capacité qui se trouve à l'intérieur, nous le verrons dans un cours de microélectronique, mais il n'apparaît pas dans le circuit intégré parce qu'il est intégré sur silicium. Eh bien, cette capacité a besoin d'un certain temps pour se charger, ce qui limite le changement de la tension à la sortie. Donc ce n'est pas lié à un phénomène fréquentiel, c'est un phénomène plutôt lié à la variation de la tension. Quand la tension va monter d'une valeur à une autre, on va voir que cette tension va mettre un certain temps et nous parlons de *slew rate* d'un amplificateur opérationnel. Et voici l'explication de la variation maximale ou maximum du signal de sortie, qu'on appelle le *slew rate* d'un ampli. C'est aussi une valeur donnée par le fabricant et il est déterminé par un rapport d'un courant interne à notre ampli, nous ne le verrons pas, ce n'est pas à nous de le décider, c'est le fabricant qui l'a utilisé pour polariser ces transistors à l'intérieur d'un l'amplificateur, divisé par une capacité, que le fabricant a dû ajouter justement pour respecter la compensation en fréquence d'un amplificateur qui sera utilisé en contre-réaction.

Notes

Summary



4m 02s

Variation maximum du signal de sortie

- Slew rate

$$S_r = \left| \frac{dv_2}{dt} \right|_{\max} = \frac{i_{\max}}{C}$$

- S_r est exprimé en V/ μ s
- Cette limitation est due au fait que le circuit interne de l'amplificateur possède une capacité C pour la compensation de sa réponse en fréquence.

Electronique I

Donc même si vous ne comprenez pas ce que ça signifie ici, sachez que la courbe qu'on vient de voir, donc ce diagramme de Bode module qu'on avait vu et qui correspond à filtre passe-bas, eh bien, il est obtenu comme ceci et la bande passante est limitée à cause d'une capacité interne. L'unité du *slew rate* est exprimée en volt par microseconde. Donc, c'est un temps de variation. Donc on regarde quelle est la tension à la sortie d'un ampli et de combien de temps cette tension a besoin pour changer d'une valeur à une autre. Donc c'est un rapport d'une variation de tension divisée par un temps qu'on observe sur un signal carré ou sur un signal triangulaire et on va essayer de l'analyser, surtout par rapport à une tension sinusoïdale pour montrer qu'il y a un lien qui est un peu bizarre à exprimer parce qu'on va l'exprimer en fonction de la fréquence et pourtant il s'agit d'une variation qui est ramenée à une variation de tension à la sortie.

Notes

Summary



5m 30s

Conséquence de l'imperfection

- Pour une tension sinusoïdale:

$$v(t) = \hat{U} \sin(\omega t)$$

$$S_r = \left| \frac{dv_2}{dt} \right|_{\max} = \left| \frac{dv_2}{dt} \right|_{t=0} = \omega \hat{U}$$

$$f_{\max} = \frac{S_r}{2\pi \hat{U}}$$

Exemple numérique:

$$S_r = 2 \text{ V}/\mu\text{s}$$

$$\hat{U} = 10 \text{ V}$$

$$f_{\max} = \frac{S_r}{2\pi \hat{U}} = \frac{2 \times 10^6}{2\pi \times 10} = 31.8 \text{ kHz}$$



Electronique I

Nous allons voir maintenant les conséquences du *slew rate* sur une tension sinusoïdale qu'on applique à un amplificateur opérationnel. Si vous prenez une tension sinusoïdale et vous l'appliquez à un amplificateur opérationnel qui possède un *slew rate* donné par le fabricant. Donc vous avez un ampli qui possède un *slew rate* d'une valeur donnée et vous le contre-réactionnez votre amplificateur et vous lui appliquez cette tension. La tension qui apparaît à l'entrée devrait bien sûr être multipliée par un gain ou transformée d'une manière donnée mais elle devrait rester assez linéaire avec la tension de sortie, c'est un montage linéaire. Alors le *slew rate* va avoir un effet qui est le suivant. Il y a une limite qui empêche votre amplificateur à voir sa tension varier brusquement. Donc il a une limite qui est égale à une valeur donnée de quelques volts par unité de temps et que ces quelques volts par unité de temps, qui sont donnés par le fabricant, vont faire en sorte que quand la tension veut bouger, ou augmenter brusquement, l'ampli va la freiner. Alors quand on regarde une tension sinusoïdale et on observe quand est-ce que la tension sinusoïdale fait un dv/dt - le bleu - brusque, c'est lorsqu'il passe par zéro.

Notes

Summary



Conséquence de l'imperfection

- Pour une tension sinusoïdale:

$$v(t) = \hat{U} \sin(\omega t)$$

$$S_r = \left| \frac{dv_2}{dt} \right|_{\max} = \left| \frac{dv_2}{dt} \right|_{t=0} = \omega \hat{U}$$

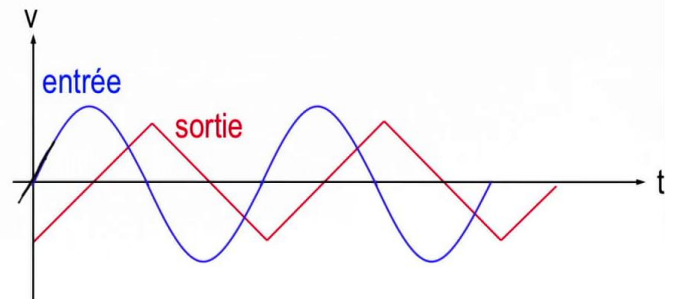
$$f_{\max} = \frac{S_r}{2\pi \hat{U}}$$

Exemple numérique:

$$S_r = 2 \text{ V}/\mu\text{s}$$

$$\hat{U} = 10 \text{ V}$$

$$f_{\max} = \frac{S_r}{2\pi \hat{U}} = \frac{2 \times 10^6}{2\pi \times 10} = 31.8 \text{ kHz}$$



Electronique I

Donc à chaque fois que votre tension sinusoïdale passe par zéro, il a un dv/dt qui est le plus élevé. Sinon il va continuer, la tension va continuer à augmenter et puis il arrive à un moment donné où le dv/dt est égal à zéro. Donc si vous prenez cette tension sinusoïdale et vous souhaitez regarder quelle est la tension, ou plutôt quel est l'impact de ce *slew rate* sur cette tension, vous n'avez qu'à le dériver par son passage par zéro parce que ça c'est l'impact le plus élevé du *slew rate*. Alors dérivons. $\hat{U} \sin(\omega t)$ à l'instant t égal à zéro qui va nous donner un $\omega \hat{U}$. Donc $\omega \hat{U}$ correspond à une fréquence $\omega = 2\pi f$ et si vous écrivez cette relation comme ça, vous tombez sur une fréquence maximum limitée par ce *slew rate*, qui est égale à *slew rate*, la valeur donnée, divisé par $2 \times \pi \times \hat{U}$. Donc on voit bien que dans le dénominateur, on a l'amplitude de la tension sinusoïdale que nous avons appliquée. Ce qui veut dire que plus vous augmentez la tension à l'entrée, plus vous limitez la fréquence d'utilisation de votre ampli et que votre tension que vous avez appliquée, qui est une tension sinusoïdale, n'a pas le temps, à la sortie de votre ampli, de changer parce qu'elle est freinée par ce *slew rate* et que ça se transforme plus ou moins à quelque chose qui ressemble à un signal triangulaire.

Notes

Summary



Conséquence de l'imperfection

- Pour une tension sinusoïdale:

$$v(t) = \hat{U} \sin(\omega t)$$

$$S_r = \left| \frac{dv_2}{dt} \right|_{\max} = \left| \frac{dv_2}{dt} \right|_{t=0} = \omega \hat{U}$$

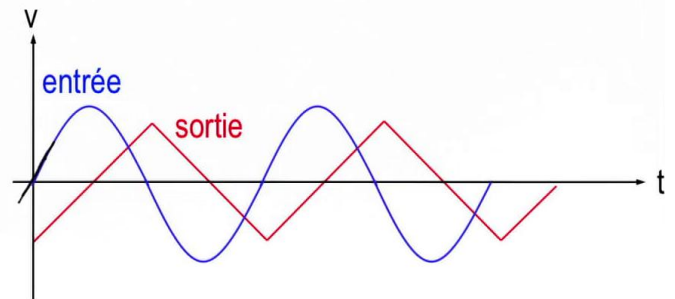
$$f_{\max} = \frac{S_r}{2\pi \hat{U}}$$

Exemple numérique:

$$S_r = 2 \text{ V}/\mu\text{s}$$

$$\hat{U} = 10 \text{ V}$$

$$f_{\max} = \frac{S_r}{2\pi \hat{U}} = \frac{2 \times 10^6}{2\pi \times 10} = 31.8 \text{ kHz}$$



Electronique I

Donc on ne peut pas garder la linéarité entre l'entrée et la sortie et l'ampli ou le montage que vous avez utilisé, il ne fait pas du tout son rôle. Donc il suffit de baisser la valeur de crête pour que de nouveau vous retrouviez une tension sinusoïdale entre l'entrée et la sortie. Prenons un exemple numérique. J'ai posé que vous avez acheté un ampli, ou vous utilisez un ampli du marché, qui a une tension ou une valeur de *slew rate* égale à $2\text{V}/\mu\text{s}$, valeur donnée par les fabricants, et que vous appliquez une tension dont la valeur de crête est égale à 10V et vous utilisez cette relation. Cette relation va vous dire vous pouvez utiliser votre amplificateur jusqu'à l'ordre de grandeur de $31,8\text{kHz}$ parce qu'au-delà de cette valeur, vous n'observerez plus à la sortie une tension sinusoïdale, vous allez observer quelque chose qui n'a même pas le temps d'atteindre la valeur supérieure. Il est limité par un dv/dt interne à votre ampli. Maintenant, si simplement vous changez la valeur de crête de votre tension que vous appliquez à l'entrée, et vous mettez 1V à la place de 10V , regardez ce qui se passe ici. Vous allez voir que f_{\max} est égal à 318kHz .

Notes

Summary



Conséquence de l'imperfection

- Pour une tension sinusoïdale:

$$v(t) = \hat{U} \sin(\omega t)$$

$$S_r = \left. \frac{dv_2}{dt} \right|_{\max} = \left. \frac{dv_2}{dt} \right|_{t=0} = \omega \hat{U}$$

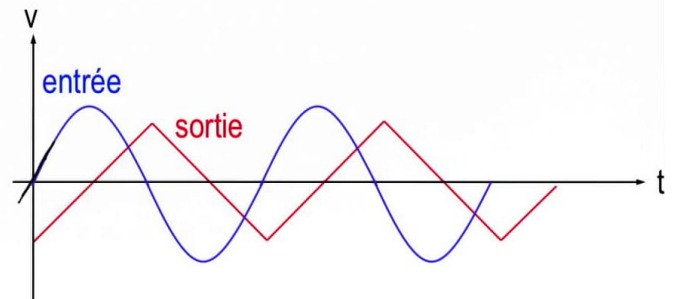
$$f_{\max} = \frac{S_r}{2\pi \hat{U}}$$

Exemple numérique:

$$S_r = 2 \text{ V}/\mu\text{s}$$

$$\hat{U} = 1 \text{ V}$$

$$f_{\max} = \frac{S_r}{2\pi \hat{U}} = \frac{2 \times 10^6}{2\pi \times 10} = 31.8 \text{ kHz}$$



Electronique I

Donc vous avez augmenté par un facteur 10 la fréquence d'utilisation de votre amplificateur. Il y a une différence fondamentale entre une limitation due au *slew rate* de l'ampli et une limitation fréquentielle de votre ampli, qu'on avait analysé avant et qu'on avait ramené à une bande passante d'un ampli et on avait parlé de la fréquence de f_{GBW} et on l'appelait aussi la fréquence de transition. Il n'y a pas un lien direct entre l'un et l'autre. L'un limite de la variation de l'amplitude, qui est le *slew rate*, l'autre est indépendant de l'amplitude mais il est en train de limiter la fréquence de l'amplificateur. Ceci dit, si vous êtes en train de tracer un diagramme de Bode d'un ampli et vous appliquez une tension sinusoïdale, si vous n'observez pas à la sortie votre tension et que, par hasard, vous étiez en train d'appliquer une tension ou une amplitude d'une tension qui a fait en sorte que votre *slew rate* commence à agir sur la fréquence de votre signal, vous n'avez pas à la sortie un sinus, donc vous ne pouvez pas du tout tracer un diagramme de Bode avec et votre ampli n'est pas en train d'effectuer son rôle.

Notes

Summary



Conséquence de l'imperfection

- Pour une tension sinusoïdale:

$$v(t) = \hat{U} \sin(\omega t)$$

$$S_r = \left| \frac{dv_2}{dt} \right|_{\max} = \left| \frac{dv_2}{dt} \right|_{t=0} = \omega \hat{U}$$

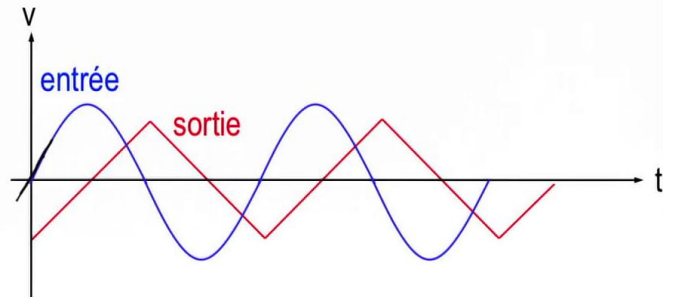
$$f_{\max} = \frac{S_r}{2\pi \hat{U}}$$

Exemple numérique:

$$S_r = 2 \text{ V}/\mu\text{s}$$

$$\hat{U} = 1 \text{ V}$$

$$f_{\max} = \frac{S_r}{2\pi \hat{U}} = \frac{2 \times 10^6}{2\pi \times 10} = 31.8 \text{ kHz}$$



Electronique I

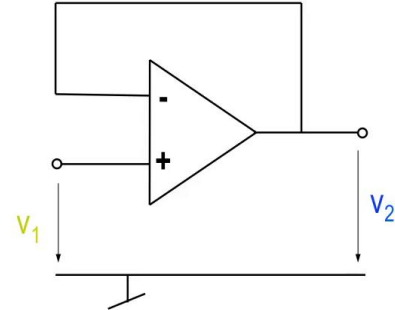
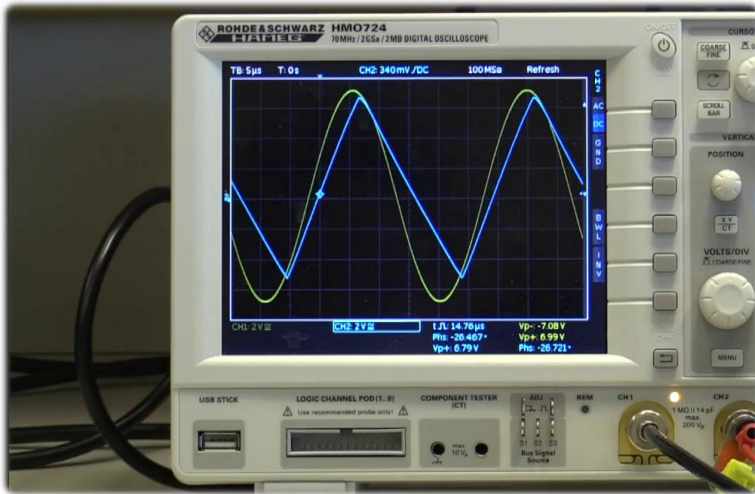
Donc je vous invite à brancher toujours un oscilloscope à la sortie de votre ampli et à vérifier que votre amplificateur, quand il a à l'entrée une tension sinusoïdale, il est en train de la transformer en une tension sinusoïdale en la multipliant par un certain gain ou en le filtrant, mais tout en gardant toujours cette relation de linéarité entre l'un et l'autre, parce que si par hasard vous avez appliqué une valeur de crête à l'entrée qui fait en sorte que l'ampli est limité par son *slew rate*, vous allez perdre votre tension à la sortie. Donc faites-le en regardant que la sortie n'est pas impactée par un *slew rate* excessif d'un amplificateur opérationnel.

Notes

Summary



TP: Observation de l'effet de S_r



Electronique I

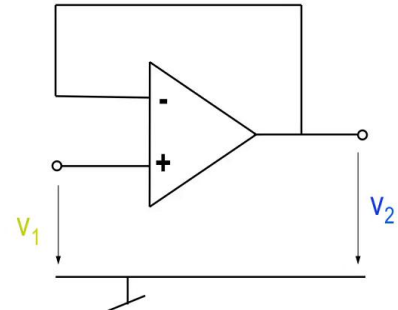
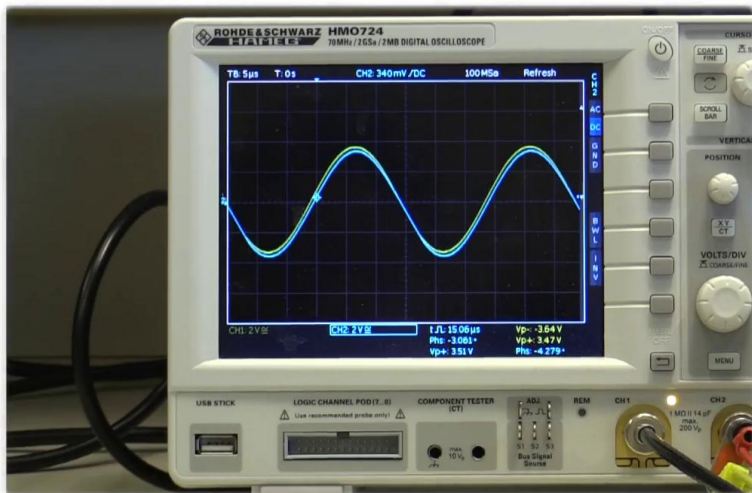
Donc on applique, à l'entrée de notre ampli, un signal carré, c'est ce qui est en jaune, et on va observer à la sortie ce qui va se passer. Nous sommes en train de regarder un *slew rate* positif, qui n'est pas du tout la même chose que la pente négative, qui est un *slew rate* négatif. Et d'ailleurs, les fabricants nous donnent deux valeurs différentes. Dans ce genre de comportement, on voit qu'il n'y a pas de symétrie dans cette structure. Le *slew rate* négatif semble être complètement différent. Et on va observer aussi qu'il y a un phénomène un peu spécial. C'est dû au fait que notre ampli est connecté en suiveur et plus tard, vous allez apprendre une limitation qu'on appelle le *common-mode range*, et c'est ce phénomène bizarre qui apparaît à l'entrée. On applique maintenant une tension sinusoïdale. Il s'agit d'un suiveur, donc on s'attend à ce que la sortie soit la même. Et nous allons modifier l'amplitude de notre tension à l'entrée et regardez la sortie, comment elle est en train d'être modifiée. La courbe bleue, la tension sinusoïdale, n'est plus une tension sinusoïdale. C'est presque un signal triangulaire.

Notes

Summary



TP: Observation de l'effet de S_r



Electronique I

Et ce signal triangulaire correspond à la pente de la tangente de notre sinus lors du passage par zéro. Donc nous n'avons plus la linéarité attendue d'un amplificateur. Et cette limitation est due au *slew rate* de l'ampli, ce n'est pas du tout un effet de fréquence. Nous n'avons pas changé la fréquence. Et on va regarder dans l'autre sens maintenant. On commence à baisser l'amplitude et de nouveau, on obtient notre tension sinusoïdale qui apparaît à la sortie et la linéarité de l'ampli est reprise. Donc si vous êtes en train de mesurer un diagramme de Bode avec un système dont l'amplitude est limitée par le *slew rate*, votre dB-mètre ne va pas donner des valeurs correctes.

Notes

Summary



13m 35s