

Applications des Amplificateurs opérationnels

8.1 Applications non-linéaires

Prof. Maher Kayal

Electronics Laboratory-ELAB



Redresseur non-inverseur simple alternance



Electronique I

Une fois que les applications linéaires sont terminées, nous allons passer aux applications non linéaires. Une application non linéaire veut dire que la sortie par rapport à l'entrée ne sont pas linéaires. Ce n'est pas $y = x$. Typiquement, sous des applications non linéaires, on étudie assez souvent les redresseurs. Donc, prendre un circuit électronique qui arrive à remplacer la fameuse diode. Donc, ce composant qui laisse passer le courant dans un seul sens, on peut le faire avec des composants tels que la diode, mais à laquelle on a ajouté un montage amplificateur opérationnel. C'est-à-dire réaliser le rêve d'un ingénieur, c'est la super diode. Parce que la diode, malheureusement, c'est un composant passif. La tension à la sortie, quand on laisse, quand on utilise une diode, il y a une tension de jonction qu'on perd entre la tension qu'on applique et celle qu'on récupère à la sortie, et cette tension de jonction est de l'ordre de 0,6 à 0,7V, voire moins dans certains types de diode. On aurait bien aimé redresser une tension dont l'amplitude est égale à 100 mV. Nous ne pouvons pas utiliser une diode, parce que la diode a besoin d'une certaine quantité de tension, et au-delà de là, elle commence à agir comme circuit qui laisse passer le courant dans un seul sens.

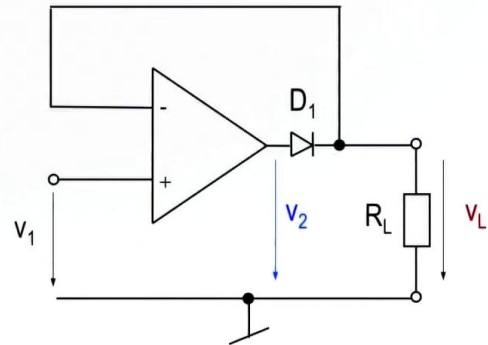
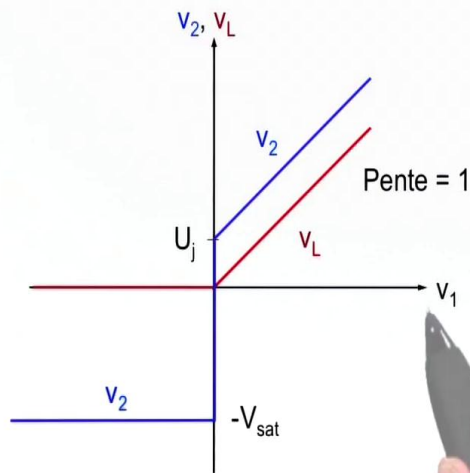
Notes

Summary



0m 04s

Redresseur non-inverseur simple alternance



Electronique I

Alors, on va faire ça avec les amplificateurs opérationnels et en utilisant des diodes. Pour commencer, j'aimerais bien parler de redresseur non inverseur à simple alternance. Je vais analyser la courbe qui est ici, qui représente ce que ce montage pourrait nous donner. La tension de sortie V_L , la tension d'entrée V_1 , et nous avons ajouté une diode. Bien sûr, on a notre amplificateur opérationnel qui se trouve là. Voici ce qu'on attend de ce circuit. Je veux le présenter et le commenter ici, et analyser pourquoi on obtient à partir de circuit quelque chose qui ressemble à ça. Si vous observez ce qui se passe à la tension V_1 ici, par rapport à la tension V_2 , donc... Pardon, je veux plutôt parler de la tension V_L . Si vous regardez ce qui se passe avec la tension V_L , par rapport à la tension V_1 , eh bien, on observe que V_L , en fonction de V_1 , correspond à cette droite-là, où la tension à la sortie, par rapport à l'entrée, il y a une pente = 1, donc $V_1 = V_L$. Cette tension est égale à ça, quand V_1 est positive. La courbe rouge correspond à la sortie V_L . Et on voit que cette courbe rouge va suivre la tension V_1 seulement quand V_1 est positive. Si V_1 devient négative, ça y est, V_L devient égale à 0.

Notes

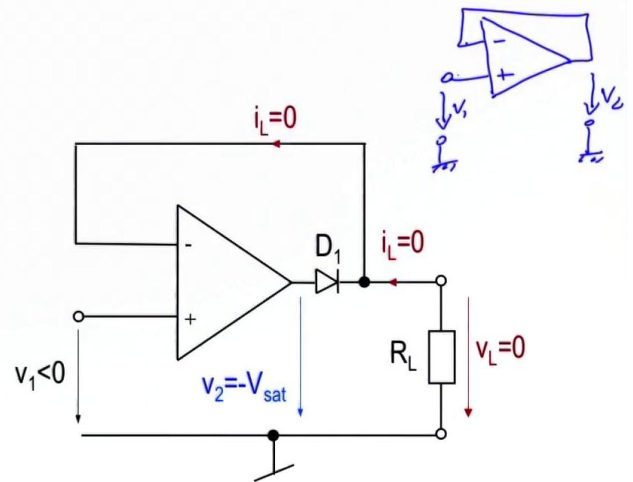
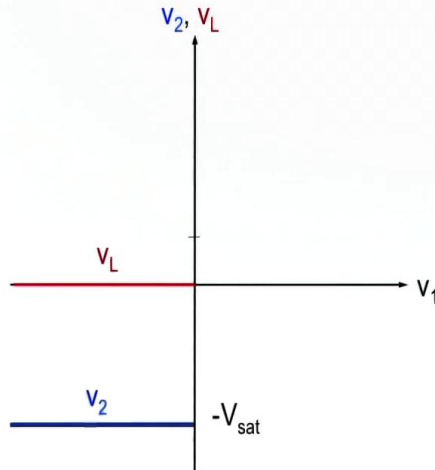
Summary



1m 21s

Redresseur non-inverseur simple alternance

- $v_1 < 0, v_2 = -V_{\text{sat}}, v_L = 0$



Electronique I

Donc, $V_L = 0$ si V_1 est négative. $V_L = V_1$ si la tension V_1 est positive. Donc, c'est non linéaire. C'est une courbe non linéaire. Ce n'est pas une droite. C'est absolument pas le cas. C'est simplement : regarde le signe de la tension et va le redresser. Donc, si la tension est positive, on retrouve la composante positive. Et si la tension est négative, la tension à la sortie s'annule. On va analyser ce circuit de la manière suivante. J'aimerais bien analyser ce circuit étape par étape, et expliquer comment on analyse ce genre de circuit. Donc, vous avez observé qu'il y a une diode. Si on fait abstraction de cette diode, je vais dessiner le circuit qui correspond à ça sans la diode. Donc, on a un amplificateur opérationnel, on a un suiveur en tension, et on a une entrée ici, et là, on a branché une tension V_1 . Et on est en train d'observer la tension de sortie V_L . Donc, théoriquement, ce genre de circuit, il se comporte, $V_1 = V_L$, cette tension est égale à cette tension, cette tension est la même que la sortie, il n'y a pas de courant qui passe ici, et c'est l'ampli qui fournit le courant à la sortie. Et on a un suivi en tension. On ajoute une diode.

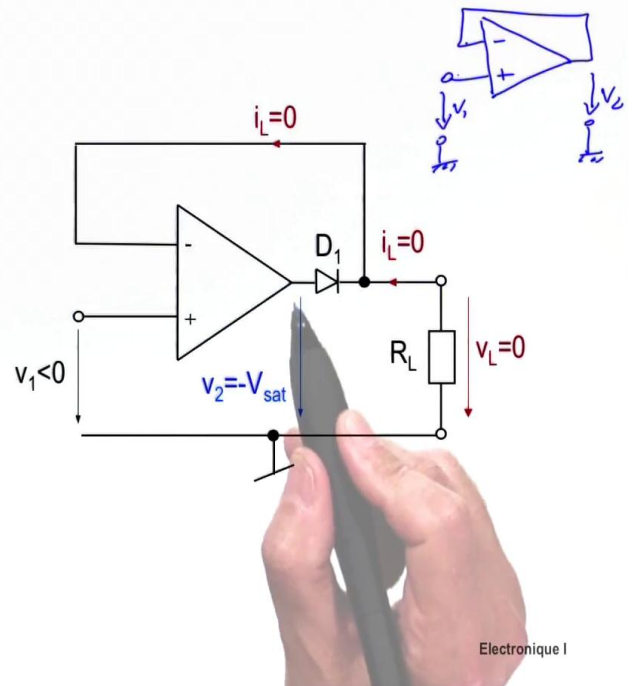
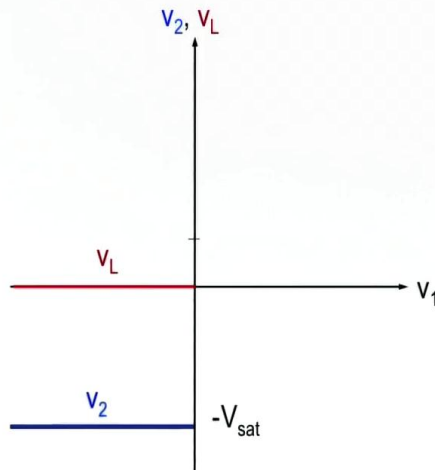
Notes

Summary



Redresseur non-inverseur simple alternance

- $v_1 < 0, v_2 = -V_{sat}, v_L = 0$



Electronique I

Cette diode vient s'insérer entre la sortie de l'ampli et notre charge que nous avons branchée là. J'ai commencé d'abord par analyser ce qui passe si la tension V_1 est négative, qu'est-ce qui se passe avec la tension V_L à la sortie. Je dis si V_1 est négative. Logiquement, dans ce circuit-là, si V_1 est négative, V_L est négative. Quand on dit : une tension V_L est négative, si cette tension-là avait été négative, le courant passe dans ce sens-là. J'ai branché exprès une résistance R_L pour la simplification et la compréhension. Donc, si vous regardez ce qui se passe avec cette résistance en ayant une tension négative, on s'attend à ce qu'il y ait un courant qui passe depuis la masse et qui est censé sortir comme ça, arriver dans ce nœud-là. Il peut pas aller là-dedans, parce que l'ampli n'absorbe pas de courant dans la borne négative. Généralement, il passe dans l'ampli. Il continue son chemin vers $-V_{CC}$. Mais il ne pourrait pas le faire, parce qu'on a inséré une diode, et cette diode est bloquante dans ce sens-là. Donc, ce courant ne peut pas du tout passer à travers cette diode pour aller vers l'ampli. Donc, ce qui va se passer, c'est que ce courant arrive, il ne peut pas aller dans ce sens-là, $i = 0$ ici, $i = 0$ ici.

Notes

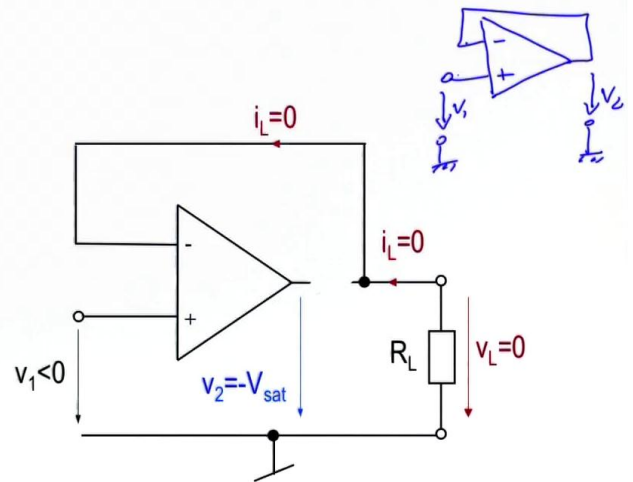
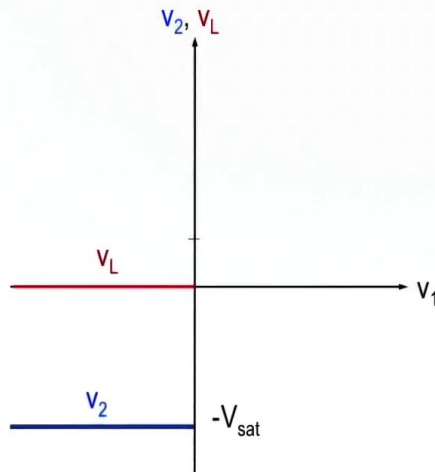
Summary



4m 20s

Redresseur non-inverseur simple alternance

- $v_1 < 0, v_2 = -V_{sat}, v_L = 0$



Electronique I

Et on va se retrouver avec une tension $V_L = 0$. Si on veut regarder ce montage autrement, il suffit de l'imaginer avec une diode bloquante. Le courant voudrait la traverser, Donc, la logique dit : c'est comme si on n'a pas cette diode, comme si cette diode-là avait disparu. On n'a rien du tout ici. Regardez ce qui se passe avec ce montage. Vous vous trouvez avec un montage qui est exactement ceci. La diode a disparu, parce qu'elle n'a pas de rôle à jouer. Le courant ici ne peut pas passer par là. La tension, là, elle se trouve sur la borne positive. Mais qu'est-ce qui se trouve ici comme potentiel ? Forcément, on a un $i_L = 0$. Dans une charge où il n'y a pas de courant la tension $V_L = 0$. Donc, votre borne ou l'entrée négative de votre ampli est connectée à la masse, à travers une résistance qui ne joue aucun rôle, parce qu'il y a une différence de potentiel égale à zéro, il n'y a pas de courant qui passe nulle part. Donc, vous vous trouvez avec une tension de votre amplificateur V_2 , déconnectée de V_L , et V_L va vous montrer une tension égale à zéro. Et ceci est seulement valable quand V_1 est négative. Alors, en analysant ça sur la courbe, c'est ce que j'ai décrit là.

Notes

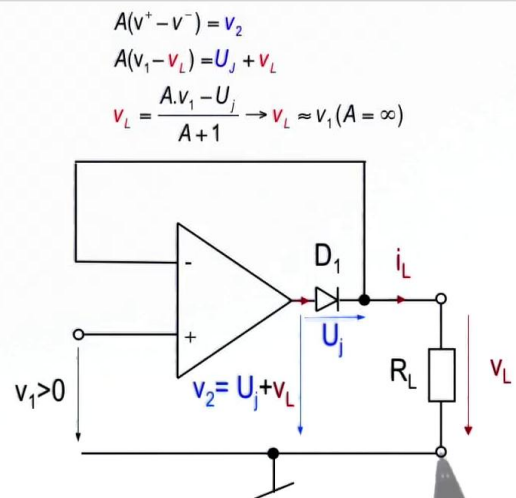
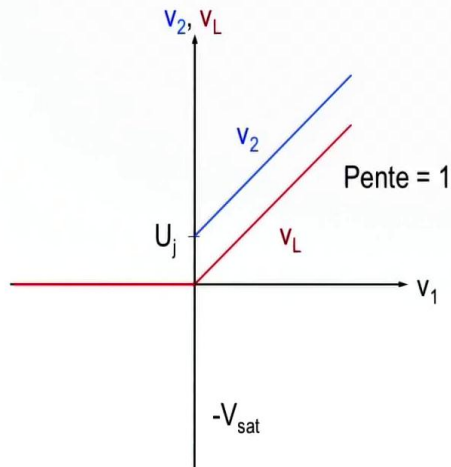
Summary



5m 37s

Redresseur non-inverseur simple alternance

- $v_1 > 0, v_2 = v_L + U_j, v_L = v_1$



Electronique I

Si V_1 est négative, donc on est inférieur à zéro, $V_L = 0$, on l'observe ici. V_2 , malheureusement, à ce moment-là, voit ce potentiel connecté à zéro, voit ce potentiel à une valeur négative, on peut imaginer à -1 . Si vous avez -1 ici et 0 là, il va vous dire que votre ampli va jouer comme un comparateur. Il compare le -1 à 0 , et il va se retrouver avec le $0 > -1$, donc il va saturer vers V_{sat}^- . La sortie de votre amplificateur se trouve donc à $V_2 = -V_{sat}$. Et ça correspond à ce qu'on vient de voir ici. V_1 négative, V_2 , que nous ne voyons pas, parce que nous la soumettons à la sortie. Mais à la sortie, notre $V_L = 0$. Je vais prendre le même schéma et je vais cette fois-ci analyser le cas où V_1 deviendrait positive. Cette fois-ci, V_1 est positive. Si vous vous souvenez, la contre-réaction, si V_1 est positive et ceci avait été un suiveur en tension, on s'attend à ce que V_L suive V_1 , donc V_L va avoir la valeur de V_1 , elle serait positive. Une tension positive veut dire que le courant i_L est en train de passer dans ce sens-là dans la résistance R_L . Ça veut dire qu'il y a un courant qui va sortir de mon ampli à travers cette diode, mais cette fois-ci, la diode est dans le bon sens.

Notes

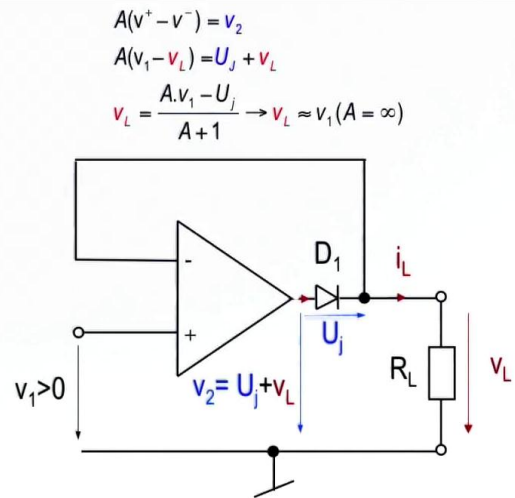
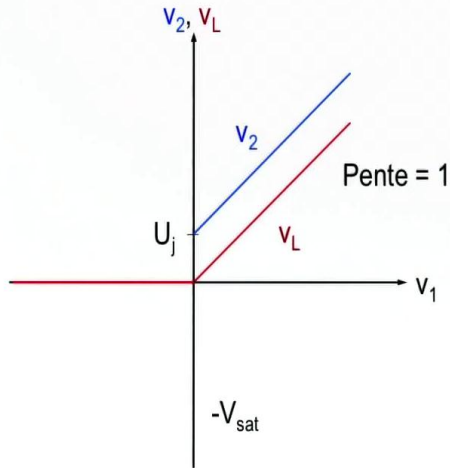
Summary



6m 58s

Redresseur non-inverseur simple alternance

- $v_1 > 0, v_2 = v_L + U_j, v_L = v_1$



$$A(v^+ - v^-) = v_2$$

$$A(v_1 - v_L) = U_j + v_L$$

$$v_L = \frac{A \cdot v_1 - U_j}{A + 1} \rightarrow v_L \approx v_1 (A = \infty)$$

Electronique I

Et dans le sens qui laisse le courant la traverser, si le courant la traverse, forcément, il va y avoir une tension de seuil égale à U_j . La sortie de mon ampli qui est là, V_2 , va voir une tension U_j plus la tension V_L . Et on le voit ici. Donc, quand le courant passe à travers cette diode, la contre-réaction est établie. Et je vais montrer tout de suite que le fait qu'on ait ajouté la diode ne changerait pas énormément ce qui se passe avec ce genre de montage. On se retrouve avec V_1 égale à ce nœud-là. Vous vous rappelez que quand l'amplificateur est contre-réactionné, ce V_1 -là est copié ici, et si vous suivez cette ligne, ça va arriver vers V_L , donc V_1 se trouve égale à V_L . Et c'est exactement ce qu'on aimerait bien de ce circuit. On aimerait bien qu'il devienne suiveur quand V_1 est positive. Donc la composante positive est renvoyée à la sortie. Je voudrais juste faire une petite démonstration. En prenant notre amplificateur opérationnel, en disant, comme on a tout le temps vu, le potentiel sur la borne négative, et le potentiel qui se trouve sur la borne positive, c'est $V^+ - V^-$ se trouve multiplié par le gain de l'amplificateur, et ce gain étant infini.

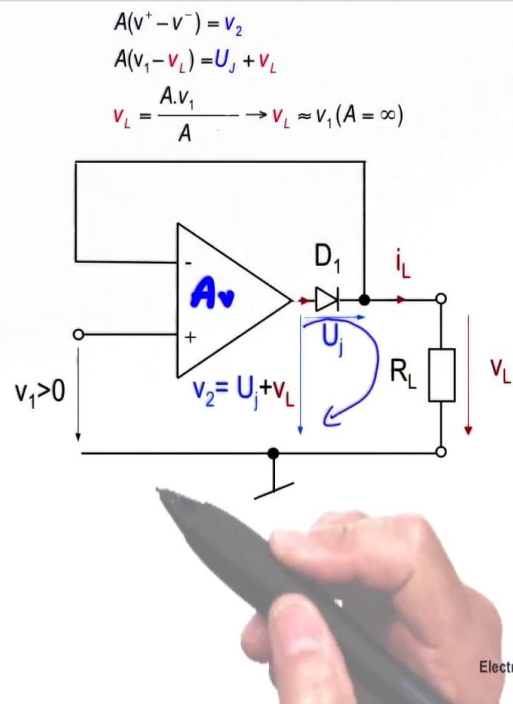
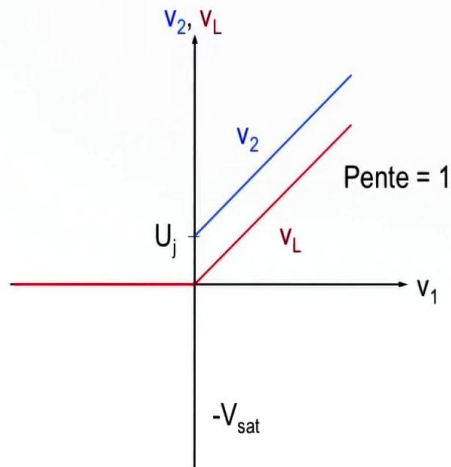
Notes

Summary



Redresseur non-inverseur simple alternance

- $v_1 > 0, v_2 = v_L + U_j, v_L = v_1$



Electronique I

Si ce gain-là est infini, et on a la relation que V_2 qui est là, égale ce gain infini, qui multiplie $V^+ - V^-$, et que cette tension V_2 , je vais l'écrire, cette tension est égale à U_j , si je prends la loi de Kirchhoff/mailles de là à là, je vais dire que $V_2 = U_j + V_L$, ce qui est écrit ici. Donc, ce $V_2 = U_j + V_L$, et je remplace V^+ et V^- par leur valeur, $V^+ = V_1$, que je mets ici. $V^- = V_L$, connecté par là, et j'écris cette relation. Et j'aimerais bien regarder V_L en fonction du reste. Ceci est en train de dire $V_L = (A \cdot V_1 - U_j) / (A + 1)$. Je vous rappelle que A est infini. Je vous rappelle que si A est infini et on regarde $\infty + 1$, je peux facilement dire que je peux négliger ce 1, par rapport à ce A . J'ai aussi $A \cdot V_1$, moins une certaine quantité relativement faible, qui est de l'ordre de grandeur de 0,6 à 0,7 V, c'est la tension de jonction aux bornes de la diode. Donc, je peux aussi négliger cette composante ici. Donc, à ce moment-là, je n'ai qu'à regarder la relation qui reste, qui est bien sûr... une approximation. C'est $A \cdot V_1 / A$, donc A et A que je peux éliminer, et je me retrouve avec $V_L = V_1$, c'est exactement ce à quoi je m'attends.

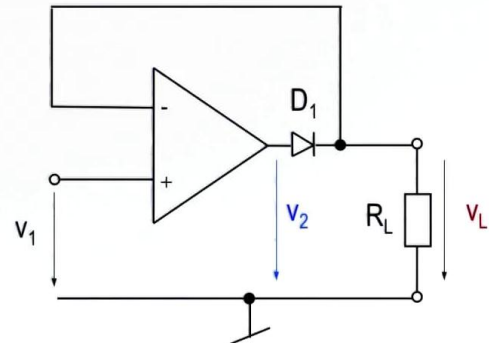
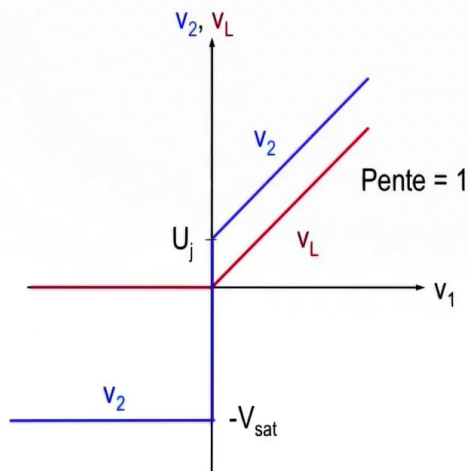
Notes

Summary



9m 54s

Redresseur non-inverseur simple alternance



⊗ Limité en fréquence (*slew rate*, réponse en fréquence de l'AO)

Electronique I

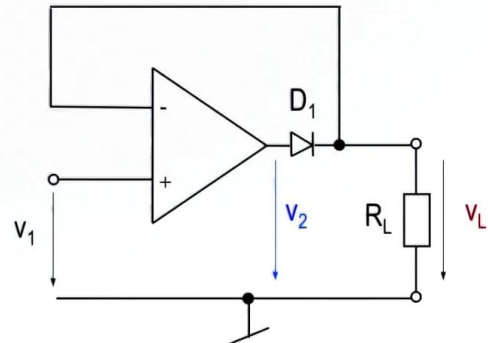
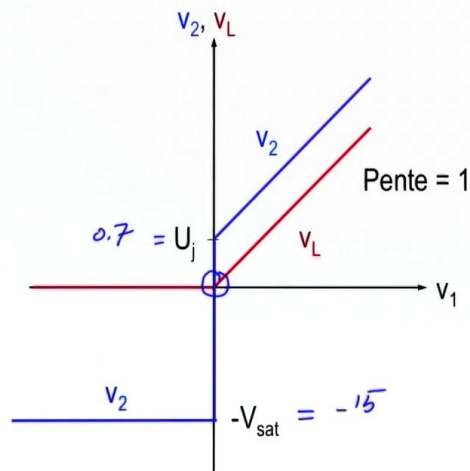
Forcément, ce U_j s'est invité dans notre relation, mais comparé à $A \cdot V_1$ avec un gain qui est extrême, ceci n'affecte pas du tout, ou affecte vraiment très très faiblement ce genre de montage. Donc, on a obtenu avec ça ce que nous voulons. On a obtenu avec ça que lorsque la composante V_1 est positive, eh bien, la sortie V_1 suivrait, ou plutôt la sortie V_L suivrait la tension V_1 , et on le voit là. Quand ceci est positif, on a un suiveur en tension avec V_2 qui est toujours décalé de U_j par rapport à V_L , donc ça correspond à cette droite qui est là. En résumé, notre montage est ceci, avec les résultats qu'on a obtenus. Si la tension est positive, à l'entrée, la sortie va le suivre. Si la tension est négative, la sortie va être égale à zéro. Alors, il y a une autre chose qui rend ce montage, ou qui donne à ce montage un paramètre qui poserait un problème quand on veut aller à des fréquences élevées. Vous vous souvenez quand on a parlé d'une des imperfections de l'amplificateur opérationnel qu'on a appelé le *slew rate*. Donc, le fameux *slew rate* d'un ampli, c'est cette composante, ou plutôt cet effet, qui dit : malheureusement, la sortie d'un amplificateur ne peut pas varier d'une valeur à une autre à une vitesse extrême, et que le fabricant nous montre quelle est la vitesse à laquelle on pourrait faire varier V_2 .

Notes

Summary



Redresseur non-inverseur simple alternance



⊗ Limité en fréquence (*slew rate*, réponse en fréquence de l'AO)

Electronique I

Et c'est lié à une quantité de consommation que le fabricant a déjà préétabli pour réaliser l'intérieur de son ampli. Et on se retrouve dans ce schéma-là. Quand V_1 passe d'une valeur négative à une valeur positive, donc on est là, quand V_1 va passer d'une valeur négative à une valeur positive, la tension V_2 que vous voyez ici, devrait passer de $-V_{sat}$ jusqu'à $+U_j$. Si vous alimentez votre ampli à des tensions d'alimentation assez élevées, tel que si on a ici quelque chose égale à $-15V$, et vous allez tendre vers une tension de l'ordre de $0,7V$, vous avez quelque chose de -15 à $0,7$, ce qui pose pas mal de préjudice à notre amplificateur. Chaque fois que notre tension qu'on voudrait redresser passe d'une valeur négative à une valeur positive, l'amplificateur n'arrive pas à suivre si l'amplitude de la tension V_2 est élevée. Donc, je vous rappelle que le *slew rate* affecte la réponse en fréquence de l'amplificateur opérationnel, mais le *slew rate*, si vous baissez la valeur de V_1 donc en l'occurrence V_2 , donc en l'occurrence V_L , vous arriverez peut-être à suivre mieux, mais cette différence-là est assez excessive, et ceci impacte fortement sur les fréquences que nous pouvons obtenir quand on utilise un montage tel que ceci. Donc, on a un sacré, ou une grande limitation en fréquence de ce genre de montage.

Notes

Summary



13m 09s