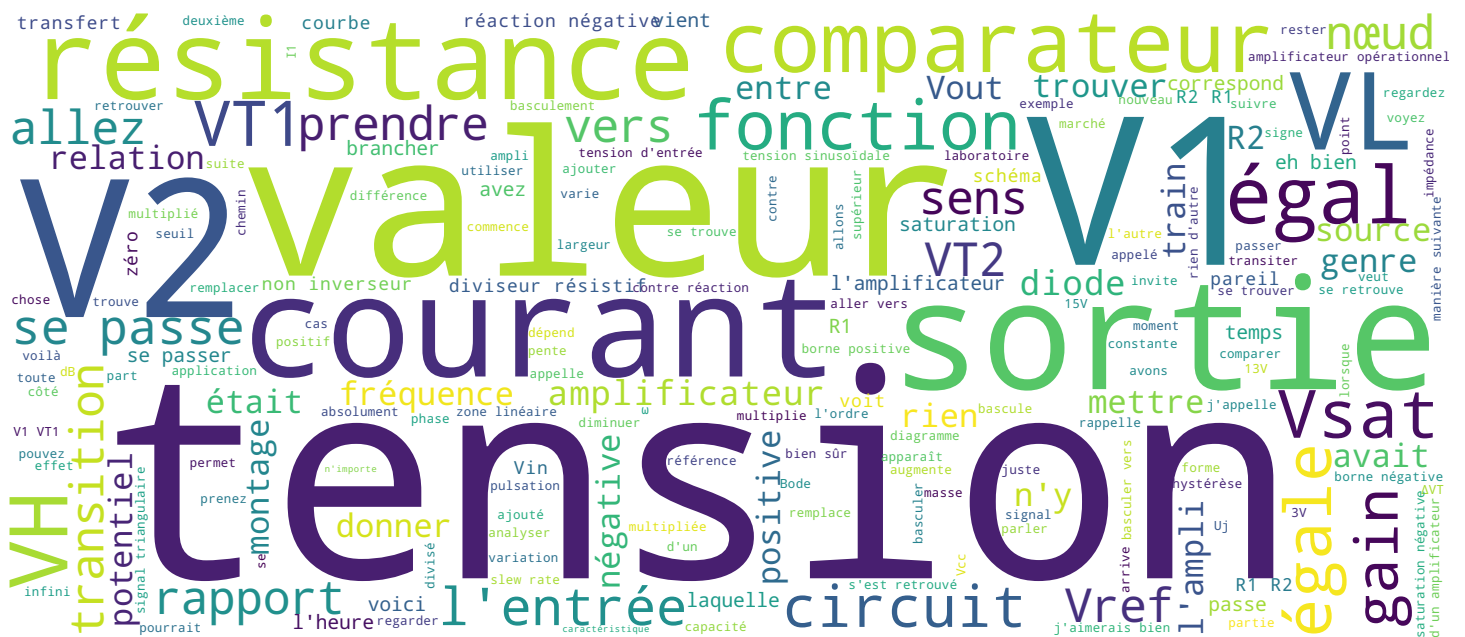


Comparateur

5.2 Amplificateur opérationnel en réaction positive

Prof. Maher Kayal

Electronics Laboratory-ELAB



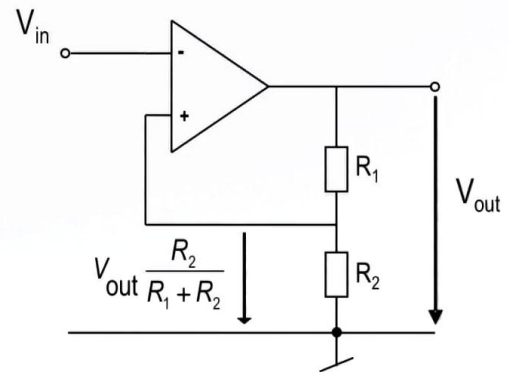
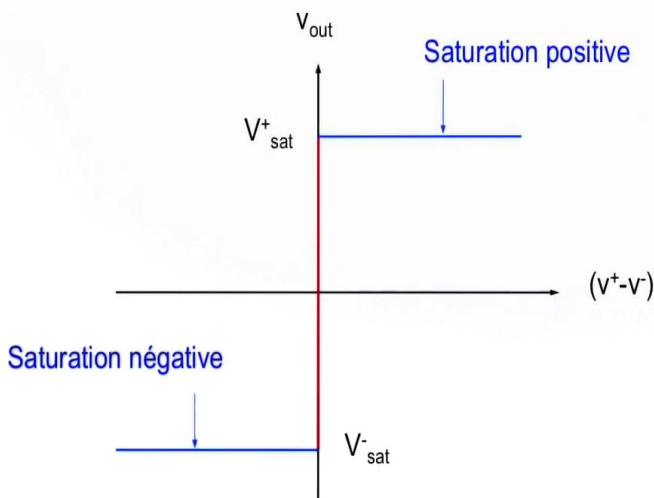
Search MOOC



Video



Comparateur en réaction positive



Electronique I

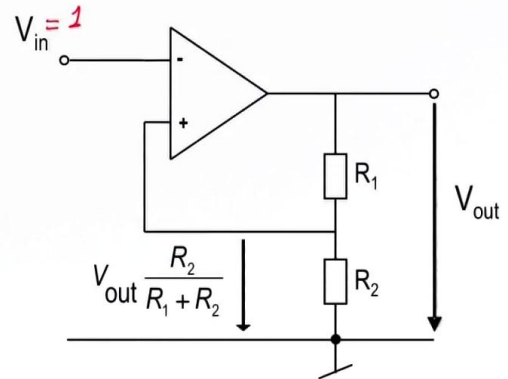
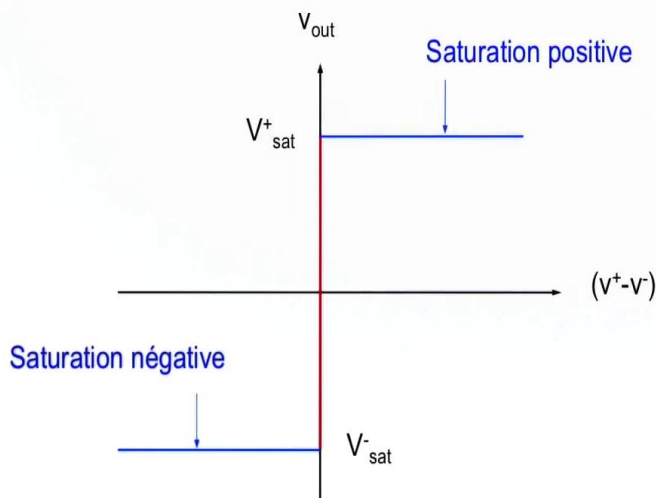
Maintenant qu'on a vu le comparateur simple, je voudrais introduire ce que j'appelle une réaction positive. On a parlé de la réaction négative, donc la contre-réaction, et là, on va parler de la réaction positive. Le comparateur est là. Il se comporte comme ça. On a ajouté un diviseur résistif à la sortie. Ce diviseur résistif va prendre la tension V_{out} , il va la réduire en la multipliant par $R_2/R_1 + R_2$, et la ramener à la borne positive et l'ajouter à l'entrée. On peut faire une réflexion très simple là-dessus pour montrer comment ça va se comporter ce genre de circuit comme on a fait avec le même circuit quand il était en réaction négative. Dans la réaction négative, j'aimerais bien vous rappeler ce qu'on avait fait. On a appelé ceci réaction négative quand on avait interverti le plus et le moins.

Notes

Summary



Comparteur en réaction positive



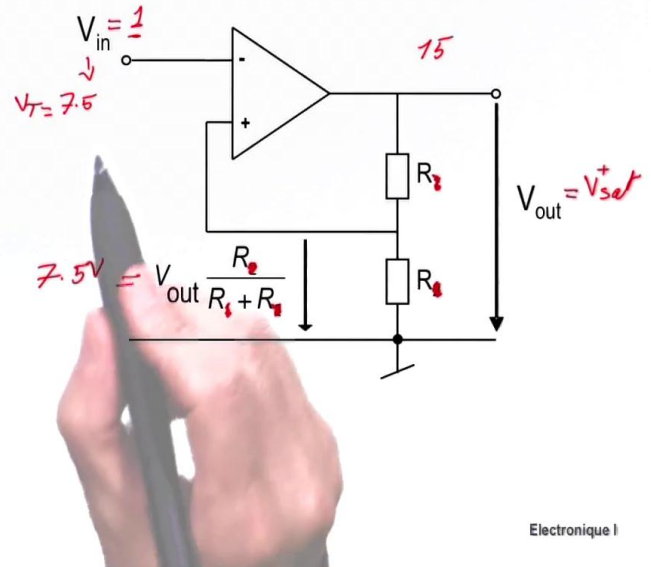
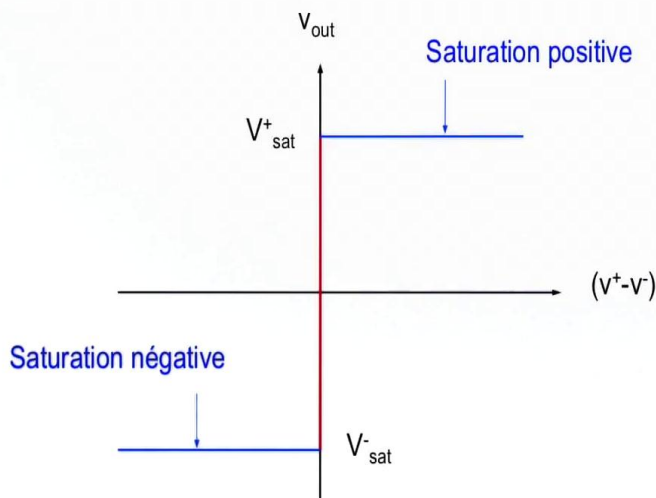
Quand le moins était là, on a fait la même opération, on a réduit la tension de sortie mais on a soustrait ça à un amplificateur opérationnel et on avait dit lorsqu'on a étudié ça, ça s'appelle la réaction négative car la relation entre V_{in} et V_{out} était linéaire et que notre amplificateur quand il a la réaction négative, c'est-à-dire le diviseur résistif réduit la tension, la ramène sur la borne négative, il coince notre amplificateur dans la zone linéaire, il peut avoir une de ces valeurs qui apparaissent ici et notre amplificateur ne bougera pas, il va rester ici parce qu'il y a une relation linéaire unique entre V_{in} et V_{out} qui passe par la valeur de la résistance, ou des résistances R_1 et R_2 . Alors ces n'importe quelles valeurs ici, l'ampli ne bougera pas, restera ici. Maintenant, si vous prenez le même circuit, et vous regardez ce circuit mais cette fois-ci, on va mettre la tension de sortie réduite sur la borne positive. On va prendre un exemple. Vous avez un état à l'entrée, V_{in} . On va faire un exemple V_{in} égal à 1. Je vous rappelle que V_{out} ne peut avoir que deux valeurs, soit saturation positive, soit saturation négative.

Notes

Summary



Comparateur en réaction positive



Electronique I

Et au moment où on branche notre comparateur, nous ne savons pas s'il est là ou s'il est là. Il peut être l'un ou l'autre. Mais supposez que l'on se retrouve avec V_{out} est égal à V_{sat+} . Ici, si l'alimentation est de 15V, donc on va se trouver avec 15V. 15V, on va prendre le même exemple qu'au début, c'est-à-dire j'ai R et R , la même valeur, donc si j'ai la même valeur, je vais me trouver ici avec V_{out} fois $1/2$, donc je vais me trouver à 7,5V. 7,5V c'est bel et bien supérieur à 1V, donc le plus est supérieur à moins, il n'y a rien qui va se passer, il va rester ici. Donc il n'y a rien qui va faire bouger un comparateur de cette situation. La seule chose qui pourrait le faire bouger, c'est ça. C'est que si on se retrouve dans cette situation, et que ce V_{in} devient égal à une tension de transition, que je vais appeler V_T , qui est égal à 7,5. Donc on a changé de 1 à 7,5 cette tension, c'est-à-dire cette tension que vous voyez sur le V_- comparée à 7,5 qui était sur le V_+ . Si la tension de transition égale, celle-ci est égale à celle-ci, c'est comme si on était en train de dire que nous sommes arrivés là.

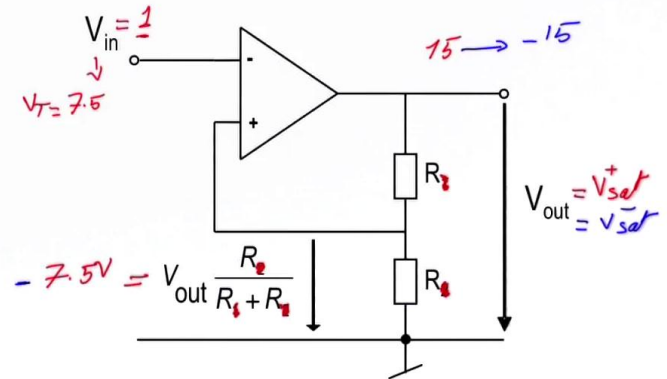
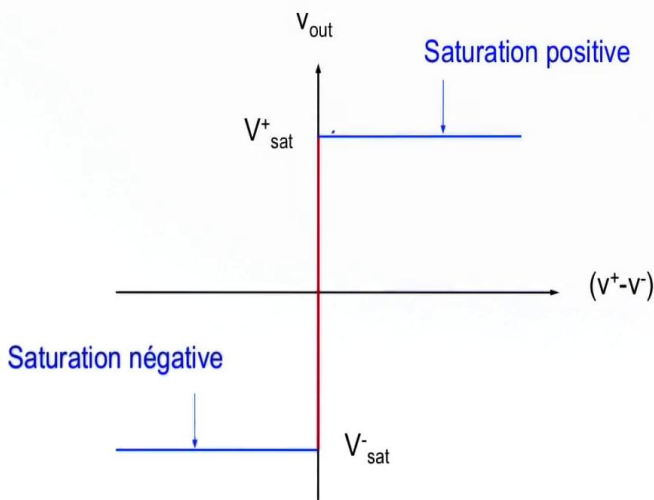
Notes

Summary



2m 31s

Comparteur en réaction positive



Electronique I

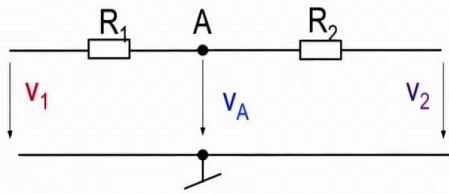
On a changé cette tension, on est tombé sur une tension de transition et là, mon comparateur, si le hasard fait que ce 7,5 est un epsilon supérieur à 7,5, ça y est, la borne négative est supérieure à la borne positive et je vais me trouver à faire basculer mon comparateur de 15V qui va aller chercher le -15V, parce que là, la tension sur la borne négative a dépassé la valeur positive. Donc nous parlons de la tension de transition qui fera basculer notre comparateur. Et là, une fois qu'il aura basculé là, on peut ajouter un signe moins ici, et nous resterons dans la même condition jusqu'à ce que, de nouveau, la tension de transition repasse par le 7,5 car si cette tension-là n'était pas 7,5, rien ne va se passer et on se retrouve soit là, soit là. Donc vous allez vous retrouver toujours avec soit V_{sat}^+ , soit V_{sat}^- . Il n'y a pas d'autre solution pour la tension V_{out} .

Notes

Summary

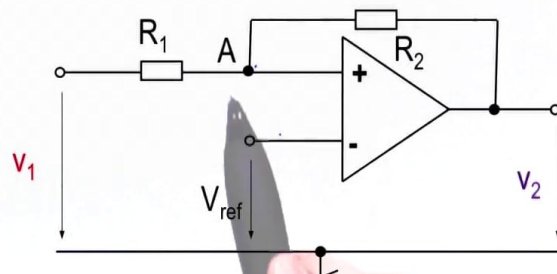


Comparteur à seuils non-inverseur



$$V_A = V_1 \frac{R_2}{R_1 + R_2} + V_2 \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

$$V_2 = \begin{cases} V_H \\ V_L \end{cases} = \begin{cases} +V_{CC} \\ -V_{CC} \end{cases}$$



Electronique I

On va prendre de nouveau notre comparateur et on va ajouter ce circuit que vous voyez autour. C'est-à-dire qu'on va faire deux choses cette fois-ci. On a ajouté un diviseur résistif R_2 et R_1 , qui se trouve entre une tension de sortie V_2 et une tension V_1 à l'entrée, mais nous avons aussi ajouté une tension de référence, une valeur DC qu'on va mettre sur l'entrée négative. On va analyser ça et vous verrez, ceci on va l'appeler un comparateur à seuils non-inverseur, ou une bascule de Schmitt, et on va l'analyser de la manière suivante. Si vous prenez la tension V_2 , donc V_2 , comme d'habitude, ne peut avoir que V_H ou V_L . V_H vaut V_{sat+} , V_L pour V_{sat-} , qui généralement sont des ordres de grandeur de $+V_{CC}$, $-V_{CC}$, mais ça, c'est des valeurs qui sont liées aux comparateurs que nous achetons et que nous utiliserons, il y a différentes valeurs de V_H et de V_L qu'on trouve dans le marché et qui dépendent d'une tension d'alimentation. On a compris que le comparateur va agir en comparant le V_+ au V_- . Donc je dois m'intéresser à ce qui va se passer dans le nœud A, et je dois le comparer à ce qui se passe dans le nœud V_{ref} .

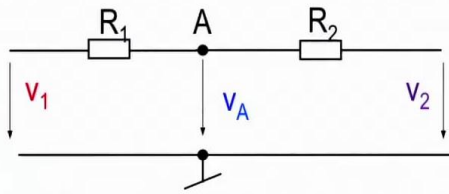
Notes

Summary



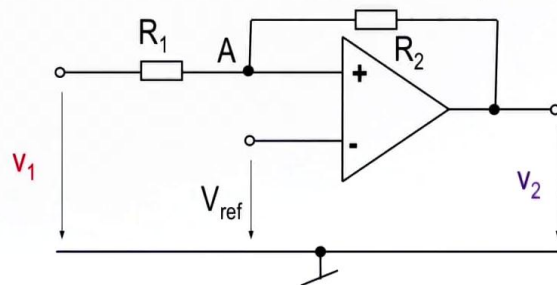
5m 11s

Comparteur à seuils non-inverseur



$$v_A = v_1 \frac{R_2}{R_1 + R_2} + v_2 \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

$$v_2 = \begin{cases} V_H \\ V_L \end{cases} = \begin{cases} +V_{CC} \\ -V_{CC} \end{cases}$$



Electronique I

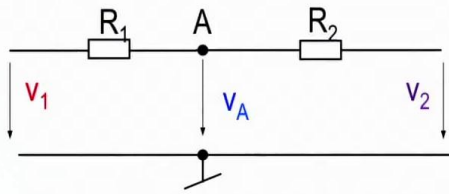
Pour comprendre ce qui se passe dans le nœud A, je vous invite à prendre cette partie du circuit, et de la dessiner à côté. Donc on reconnaît bien R_1 et R_2 , le nœud A. J'aimerais bien savoir ce qui se passe avec la tension v_A comparée à V_{ref} pour voir si v_A est supérieur à V_{ref} . On vient de le voir, le comparateur va aller vers V_{sat+} , et le contraire, il va aller vers V_{sat-} . Alors j'aimerais bien écrire cette tension V_A . En analysant ça à part, le principe de superposition nous permettrait de le lire de la manière suivante. Je commence d'abord par... Je commence par annuler V_2 . Donc je court-circuite V_2 à la masse et j'exprime V_A en fonction de V_1 . Et ça va me donner ceci. Donc $V_A = V_1 \frac{R_2}{R_1 + R_2}$, à condition que $V_2 = 0$. Je fais la même chose de ce côté-là. Je mets $V_1 = 0$ et je regarde V_A en fonction de V_2 et je vais trouver cette deuxième partie-là, donc je vais trouver que $V_A = V_2 \frac{R_1}{R_1 + R_2}$. En partant de ce postulat, j'ai la tension V_A qui dépend de V_1 et de V_2 . Je connais V_2 . V_2 ne peut avoir que V_H et V_L .

Notes

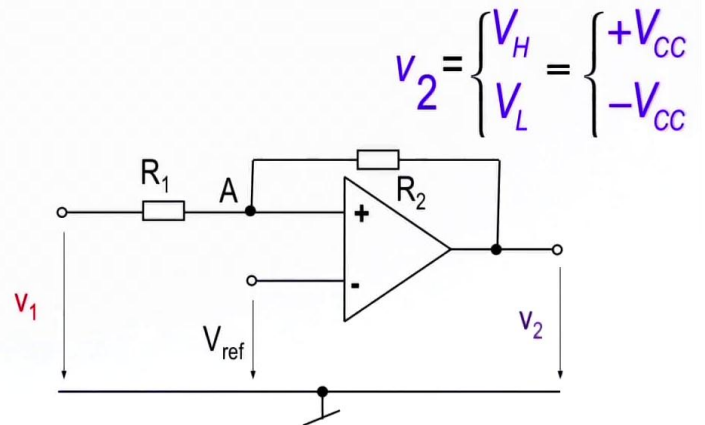
Summary



Comparteur à seuils non-inverseur



$$V_A = V_1 \frac{R_2}{R_1 + R_2} + V_2 \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$



$$V_2 = \begin{cases} V_H \\ V_L \end{cases} = \begin{cases} +V_{CC} \\ -V_{CC} \end{cases}$$

Electronique I

Maintenant, qu'est-ce qui va se passer avec V_1 ? V_1 , c'est une tension d'entrée que l'utilisateur va brancher, c'est une tension qui varie dans le temps, et la tension V_A va subir la variation de V_1 selon si V_2 est V_H ou V_L . Alors on va décider de procéder de la manière suivante.

Notes

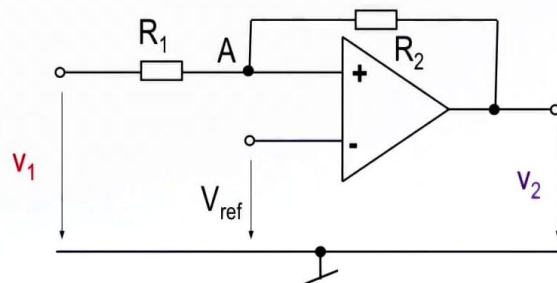
Summary



Comparteur à seuils non-inverseur

- Cas 1: Sortie initialement au niveau haut: $v_2 = V_H$
- Basculement vers le bas: $v_A = V_{ref}$
et $v_1 = V_{T1}$

$$v_A = v_1 \frac{R_2}{R_1 + R_2} + v_2 \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$



Electronique I

Nous allons prendre le cas 1 et considérer qu'on est parti avec $V_2 = V_H$. Donc la tension de sortie est égale à une tension V_{sat+} , V_H . Et on va se poser la question : quelle est la valeur de V_1 qui va permettre à V_2 de transiter de la valeur V_H vers la valeur V_L ? Donc on va se poser cette question. Lorsque V_1 varie, elle va faire varier A , sachant que V_2 est fixe. Regardez, V_A dépend de V_1 et de V_2 mais V_2 étant fixe, il n'y a qu'une seule valeur de V_1 pour laquelle ce nœud-là égal à ce nœud-là et tout de suite V_2 va changer d'état, va passer d'une valeur à une autre et en l'occurrence, on veut voir quelle est la valeur. On était à V_H et on veut aller vers la tension V_L . Donc nous allons appeler la tension $V_1 = V_{T1}$, la valeur pour laquelle justement, quand $V_1 = V_{T1}$, V_2 va transiter de V_H à V_L . Alors je vais remplacer V_1 par V_{T1} parce que je me pose la question quelle est la valeur de ce V_1 , que j'appellerai V_{T1} , pour lequel la tension V_2 , qui n'est rien d'autre que égale à V_H , va transiter lorsque $V_A = V_{ref}$. Donc je vais obtenir ce basculement.

Notes

Summary



8m 40s

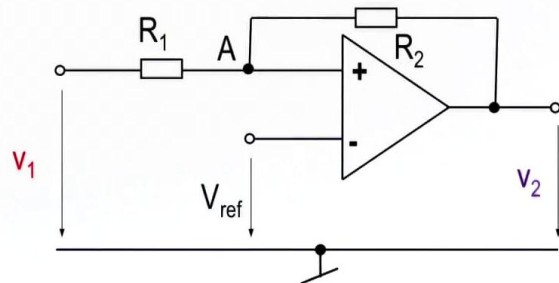
Comparteur à seuils non-inverseur

- Cas 1: Sortie initialement au niveau haut: $v_2 = V_H$
- Basculement vers le bas: $v_A = V_{ref}$
et $v_1 = V_{T1}$

$$v_A = v_1 \frac{R_2}{R_1 + R_2} + v_2 \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

$$V_{ref} = V_{T1} \frac{R_2}{R_1 + R_2} + V_H \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

? ↓
 V_L



Electronique I

Et voici le raisonnement que je viens de faire. J'ai remplacé $V1$ par V_{T1} . J'ai remplacé $V2$ par V_H . Et je regarde V_A et je vais dire lorsque $V_A = V_{ref}$, c'est lorsque ça égal à ça que j'ai le droit de mettre ça et de mettre ça, parce que c'est à ce moment-là, qu'il va y avoir une transition et que ce fameux V_H va transiter et devenir égal à V_L . Donc je dois dire quelle est la valeur de V_{T1} pour laquelle V_H va basculer à V_L .

Notes

Summary

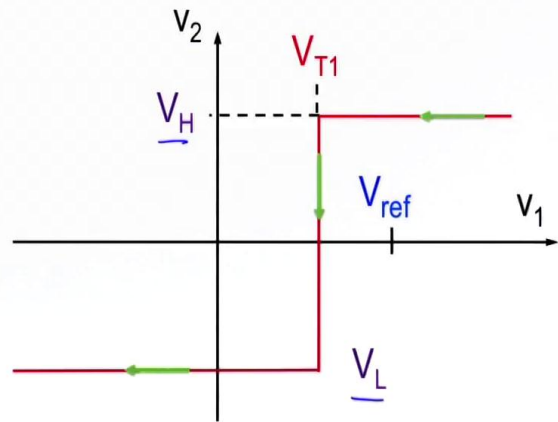


Comparteur à seuils non-inverseur

$$V_{T1} = V_{ref} \frac{R_1 + R_2}{R_2} - V_H \frac{R_1}{R_2}$$

$$V'_{ref} = V_{ref} \frac{R_1 + R_2}{R_2}$$

$$V_{T1} = V'_{ref} - V_H \frac{R_1}{R_2}$$



Electronique I

Et le calcul vient de cette analyse. J'ai exprimé V_{T1} et ça m'a donné cette relation que je remplace pour une lecture simple, $V_{ref} R_1 + R_2/R_2$ par une valeur que j'appelle V'_{ref} . Donc ça peut me donner cette relation aussi simple qui a une valeur V_{T1} de transition. Et cette valeur de transition V_{T1} pour laquelle j'ai la transition que j'observe ici. Ça veut dire qu'on est dans un état $V_2 = V_H$ là. On arrive vers une valeur de V_{T1} , parce que V_1 est en train de baisser. Regardez, V_1 diminue, V_2 reste égal à V_H . Rien ne se passe. On arrive à la valeur de V_{T1} . V_{T1} correspond à une valeur de potentiel $V_A = V_{ref}$. Donc tout de suite, mon comparateur va basculer, et la sortie redevient égale à V_L . Donc c'est sûr que V_2 a soit ça, soit ça, rien d'autre. Et on a beaucoup de valeurs pour V_1 possibles. Et il n'y a qu'une seule valeur qui va pousser mon diviseur résistif à amener le potentiel au nœud A pour qu'il soit égal au potentiel, au V_{ref} et c'est là où le comparateur change de sortie et il va basculer de là à là.

Notes

Summary



Comparteur à seuils non-inverseur

- Cas 2: Sortie initialement au niveau

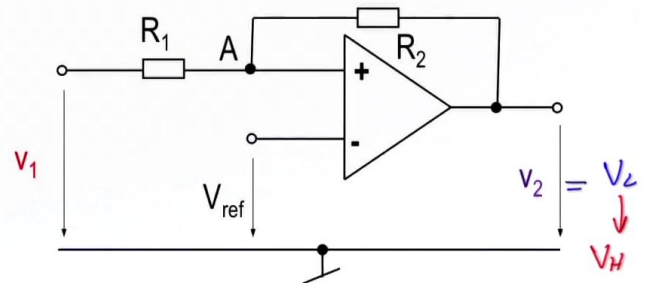
bas: $v_2 = V_L$

- Basculement vers le haut: $v_A = V_{ref}$

et $v_1 = V_{T2}$

$$v_A = v_1 \frac{R_2}{R_1 + R_2} + v_2 \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

$$V_A = V_{ref} = V_{T2} \frac{R_2}{R_1 + R_2} + V_L \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$



Electronique I

Nous allons analyser le même circuit et nous allons l'analyser cette fois-ci quand $V_2 = V_L$. On est à V_L . On a $V_2 = V_L$ et nous allons voir comment faire pour que, maintenant, il y ait un changement de V_L vers V_H . Donc on aimerait bien refaire la démarche inverse en prenant les mêmes relations, en remplaçant cette fois-ci V_2 par V_L , et je vais appeler V_1 V_{T2} , parce que c'est une transition vers une autre valeur. Et je vais remplacer V_2 par V_L et je l'écris ici et je dis lorsque $V_A = V_{ref}$, il va y avoir cette transition et je peux calculer l'expression comme tout à l'heure.

Notes

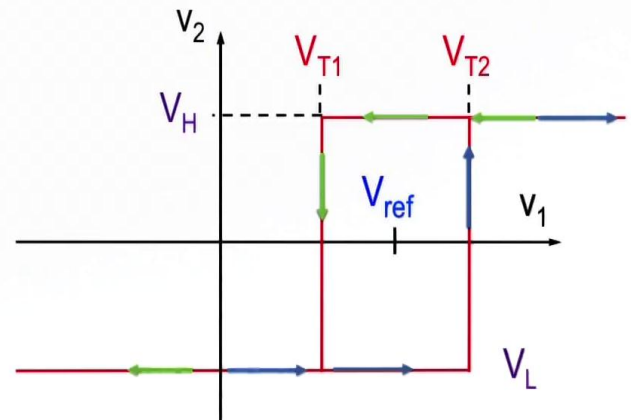
Summary



Comparteur à seuils non-inverseur

- Combinaison des deux cas

$$\Delta V_T = V_{T2} - V_{T1} = \left(V_H - V_L \right) \frac{R_1}{R_2}$$



Electronique I

Et voilà les résultats obtenus une fois V_{T2} exprimé en fonction de notre V_{ref} et de la tension de saturation négative du comparateur. De la même manière, je remplace ce terme que j'ai ici, pour me faciliter la lecture de ma formule par une valeur que j'appelle V_{ref} , et je trouve une deuxième tension de basculement V_{T2} pour que ma tension de sortie passe de V_L à V_H et que cette transition, cette fois-ci, c'est vers le haut. Donc on augmente V_1 , il y a toutes les valeurs, rien ne se passe avec la tension de sortie de mon comparateur, il va rester vers la saturation négative, il va arriver vers une valeur que j'ai calculée qui correspond à V_{T2} , et là, mon comparateur va voir que le V_+ , l'entrée positive, devient supérieure à l'entrée négative, et il ne peut que comparer les deux, alors il bascule et il va se retrouver à la tension de saturation positive, qui est V_H . J'aimerais cumuler les deux courbes de tout à l'heure, et nous tombons sur cette forme de courbe. Les deux cas, lorsque la sortie était à V_H , et on a transité vers V_L , et on a appelé la tension $V_1 = V_{T1}$ pour laquelle il y a eu cette transition, et on s'est retrouvé à V_L , et on a augmenté cette fois-ci V_1 et regardez ce qui se passe.

Notes

Summary

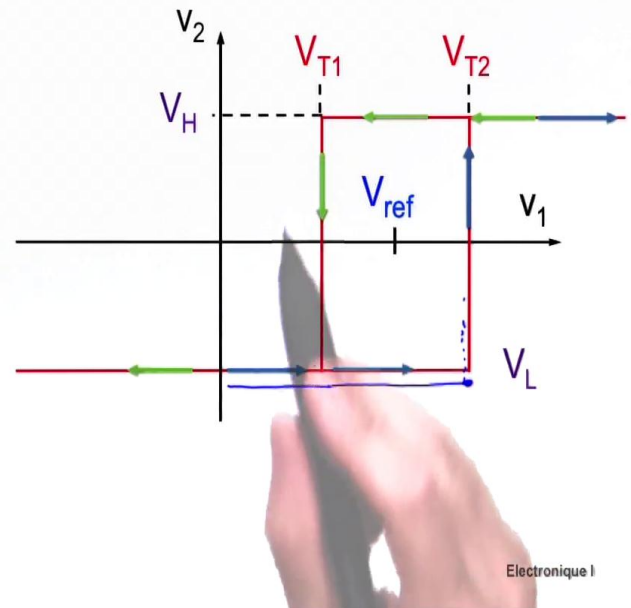


13m 39s

Comparteur à seuils non-inverseur

- Combinaison des deux cas

$$\Delta V_T = V_{T2} - V_{T1} = (V_H - V_L) \frac{R_1}{R_2}$$



On s'est retrouvé à V_H et on a commencé à diminuer V_1 . V_1 est en train de diminuer. On est passé par V_{T2} , rien ne s'est passé. On a atteint V_{T1} . Quand on a atteint V_{T1} , le comparateur a changé d'état. Il s'est retrouvé à V_L . Maintenant, on peut continuer à diminuer V_1 , rien ne se passe, on reste toujours à V_L . Si on part dans le sens opposé, et dans ce sens opposé, on est en train d'augmenter maintenant V_1 , on est en train de partir dans ce sens-là, on arrive ici. V_1 vaut V_{T1} , rien de ne se passe. Il va falloir continuer jusqu'à ce qu'on arrive ici, vers cette valeur V_{T2} et, hop, le comparateur va basculer vers V_{T2} . Donc nous nous trouvons avec un schéma où il y a deux chemins possibles, un chemin pour basculer vers le V_H , un chemin pour basculer vers le V_L , mais ils ne se retrouvent pas au même endroit. Le comparateur simple avait une valeur de seuil unique pour laquelle il bascule chaque fois. Ce genre de comparateur il a deux valeurs de seuil, et entre les deux, ça dépend, s'il vient dans ce sens-là, il dépasse la première valeur, il bascule vers la deuxième, s'il passe dans ce sens-là, il passe la première valeur et il bascule vers la deuxième.

Notes

Summary

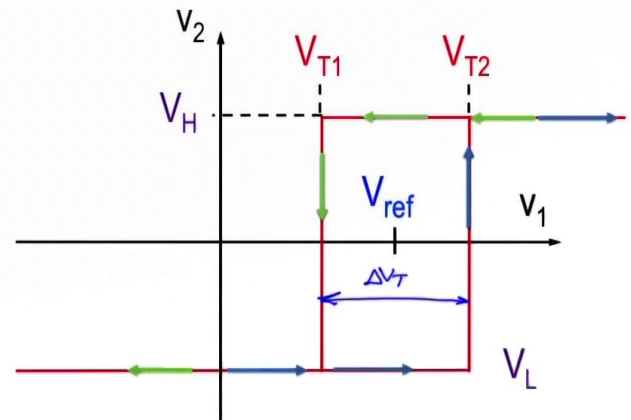


15m 15s

Comparateur à seuils non-inverseur

- Combinaison des deux cas

$$\Delta V_T = V_{T2} - V_{T1} = (V_H - V_L) \frac{R_1}{R_2}$$



Electronique I

Nous appelons cette forme, une forme à hystérèse, et on l'appelle comparateur à hystérèse à seuils non-inverseur. Et d'où vient le nom « non-inverseur » ? Le nom « non-inverseur » vient du fait que quand V_1 augmente, à un moment donné, la sortie va elle aussi augmenter de V_L à V_H en le suivant pour une valeur. Pareil quand V_1 diminue, on arrive vers une valeur où la tension de sortie va la suivre d'une manière binaire, où elle était à V_H , elle va devenir à V_L . Alors si vous faites la largeur de cette hystérèse, donc ce fameux ΔV_T , qui est cette différence entre V_{T1} et V_{T2} , vous allez trouver que ce ΔV_T est proportionnel à un rapport de résistances que vous aurez ajouté, R_1/R_2 , qui multiplie la différence de la tension de saturation de votre comparateur. Et si vous regardez maintenant ce qui se passe avec votre tension de référence, donc si vous déplacez ce point-là, vous allez voir que toute la fenêtre va vous suivre en fonction de cette valeur de V_{ref} . La largeur de votre hystérèse dépend donc d'un rapport de résistances et des tensions de saturation, par contre la valeur de référence que vous ajoutez, elle va être centrée et elle va déplacer votre fenêtre d'un endroit à l'autre, donc vous pouvez comparer ça en fonction de ce V_{ref} .

Notes

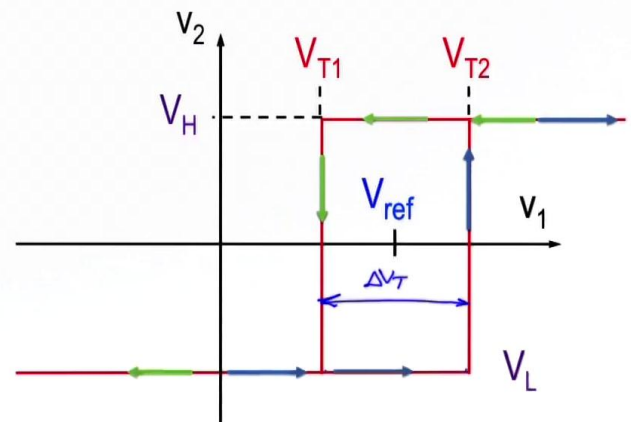
Summary



Comparateur à seuils non-inverseur

- Combinaison des deux cas

$$\Delta V_T = V_{T2} - V_{T1} = (V_H - V_L) \frac{R_1}{R_2}$$



Electronique I

Et nous parlons aussi d'un effet de mémoire. On dit que votre comparateur à hystérèse, il retient l'information ici. Donc là, il a passé, il n'a pas basculé, il a continué à avoir un effet mémoire, et il a rebasculé plus loin, pareil dans ce sens-là, donc il y a un effet mémoire. Il se souvient de l'état dans lequel il était avant. Il le maintient plus longtemps avant de rebasculer vers un autre état, pareil, dans un sens ou dans un autre.

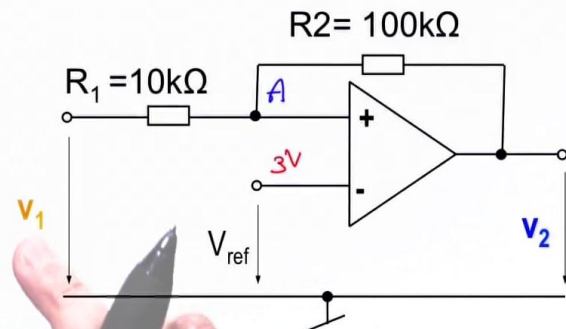
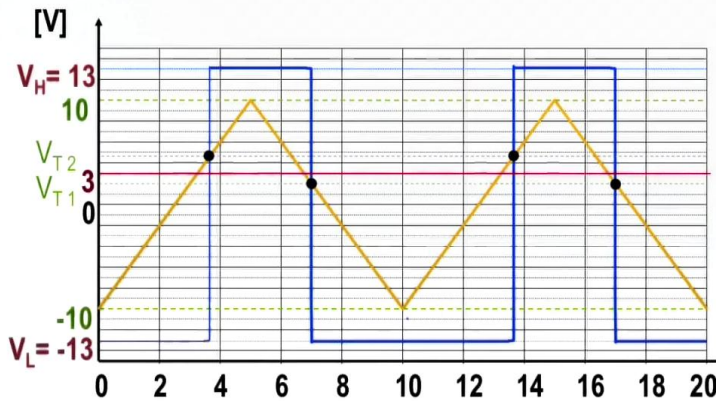
Notes

Summary



18m 19s

TP: Comparateur à seuils non-inverseur



$$V_{T1} = V_{ref} \left(\frac{R_1 + R_2}{R_2} \right) - V_H \frac{R_1}{R_2} = 2V$$

$$V_{T2} = V_{ref} \left(\frac{R_1 + R_2}{R_2} \right) - V_L \frac{R_1}{R_2} = 4.6V$$

Electronique I

Je vous invite à aller tester tout ça dans un laboratoire. Donc je vous invite à prendre un comparateur, à brancher une résistance $R_2 = 100k\Omega$, une résistance $R_1 = 10k\Omega$, à noter les relations que nous avons calculées tout à l'heure, à de faire le calcul numérique en fonction de ces valeurs de résistances que je vous ai données, en tenant compte de V_H et de V_L d'un comparateur du marché. Il y en a différentes sortes de ces comparateurs. Généralement, les tensions de saturation sont symétriques. Pas toujours, on peut tomber sur de l'asymétrie dans certaines de ces valeurs, mais là, j'ai choisi un comparateur qui a une tension de saturation de 13V pour V_H , donc $V_{sat+} = 13$ et $V_{sat-} = -13$. Et en même temps, je vous invite à prendre une tension V_1 et à brancher un signal triangulaire qui a une valeur de crête égale à +10V et -10V, et à le brancher ici et à mettre une tension continue $V_{ref} = 3V$. Donc à comparer ce nœud A, dont on a parlé tout à l'heure, à la valeur qui va se trouver ici, qui est égale à 3V, donc on met 3V ici. On va partir bien sûr d'un état donné. V_1 va varier selon cette courbe.

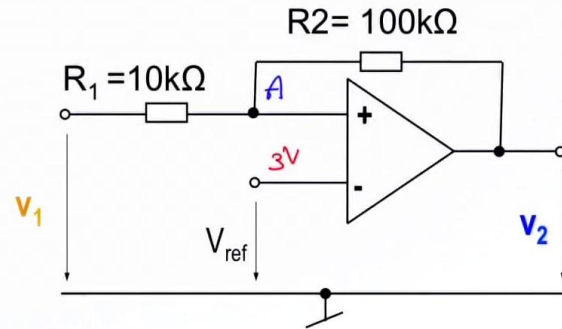
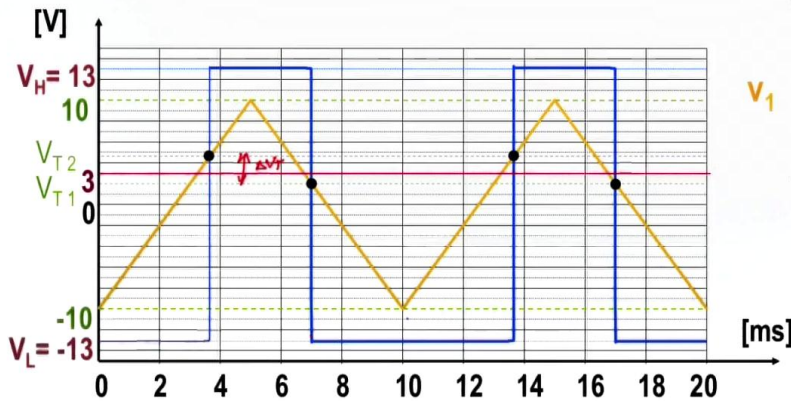
Notes

Summary

18m 48s



TP: Comparateur à seuils non-inverseur



$$V_{T1} = V_{ref} \left(\frac{R_1 + R_2}{R_2} \right) - V_H \frac{R_1}{R_2} = 2V$$

$$V_{T2} = V_{ref} \left(\frac{R_1 + R_2}{R_2} \right) - V_L \frac{R_1}{R_2} = 4.6V$$

Electronique I

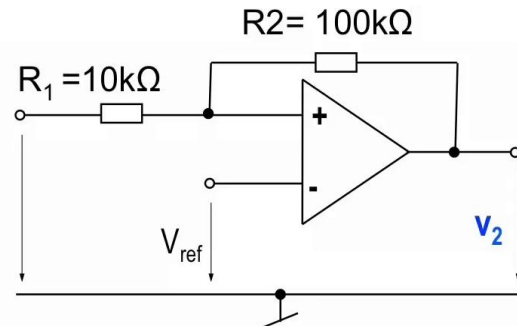
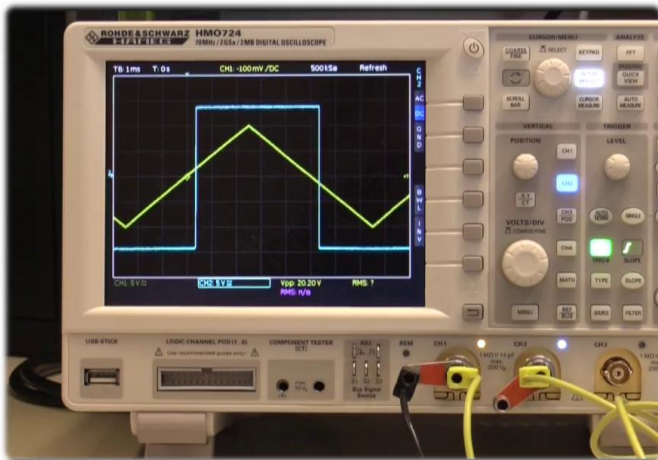
Puisque V_1 varie, ça c'est fixe, V_A va suivre la variation de V_1 . À un moment donné, V_A va être égal à 3V et votre tension V_2 va basculer dans un sens, et après, elle va rebasculer dans l'autre sens selon le V_{T1} et V_{T2} qui découlent de ces relations analytiques qu'on avait calculées avant. Et voilà ce qui va se passer. Vous allez avoir une tension V_{T1} , qui est ici, qui est égale à 2V. Vous allez avoir une tension V_{T2} qui est égale à 4,6V et vous allez avoir la comparaison entre votre signal triangulaire et ces deux niveaux de tension qui apparaît avec la sortie de votre V_2 . Donc V_2 , c'est soit à 13V quand on est supérieur à V_{T2} , et on est à -13V quand on est inférieur à V_{T1} . Et nous avons donc ce ΔV_T qui apparaît ici. Ça c'est notre ΔV_T qui se trouve entre $V_{T2} - V_{T1}$, donc de l'ordre de 2,6V entre les deux et qui va se retrouver centré par rapport à ce 3V, qu'on pourrait, en changeant ces 3V, déplacer vers le haut ou vers le bas, ce qu'on va voir avec l'expérimentation une fois qu'on a branché ce genre de circuit devant un oscilloscope.

Notes

Summary



TP: Comparateur à seuils non-inverseur



$$V_{T1} = V_{ref} \left(\frac{R_1 + R_2}{R_2} \right) - V_H \frac{R_1}{R_2} = 2V$$

$$V_{T2} = V_{ref} \left(\frac{R_1 + R_2}{R_2} \right) - V_L \frac{R_1}{R_2} = 4.6V$$

$$\Delta V_T = V_{T2} - V_{T1} = \left(V_H - V_L \right) \frac{R_1}{R_2}$$

Electronique I

Et voici notre expérience maintenant au laboratoire, donc notre comparateur qui a deux tensions de basculement : V_{T1} , qui permet à la sortie de passer vers V_{sat+} , V_{T2} , qui permet à notre sortie de descendre vers V_{sat-} . Et maintenant, cet état de sortie tel que vous le voyez, que ce soit vers V_{sat+} ou V_{sat-} , est géré par une comparaison avec le signal triangulaire. On est en train de changer la tension de référence et vous êtes en train de voir comment on déplace la fenêtre de l'hystérèse sur l'entrée de ce comparateur. Là, la largeur de la fenêtre resterait la même, par contre, le déplacement permettrait d'élargir ou de diminuer l'état V_{sat+} et V_{sat-} .

Notes

Summary

