



- Introduction
- Montage à gain indépendant de la fréquence
- Montage à gain dépendant de la fréquence

Electronique I

Le premier chapitre dans l'amplificateur opérationnel c'est d'abord parler de ce que c'est le circuit lui-même. Ensuite, on va aborder la réaction négative et bien plus tard, on va aborder ce qu'on appelle la réaction positive. Pour commencer, il y a une petite introduction et on va parcourir l'ensemble des symboles, de comment circulent les courants et les tensions, comment on alimente un amplificateur opérationnel (AOP). Et tout de suite après, on va aborder cet amplificateur dans une série de circuiteries. Ces circuiteries vont traiter de ce qu'on appelle un amplificateur avec des montages indépendants de la fréquence. Ce qui veut dire que cet AOP une fois qu'on a commencé à le brancher dans un circuit électronique, la sortie et l'entrée sont indépendantes de la variation de la fréquence. C'est une fonction linéaire. Ceci va nous amener à traiter le domaine des filtres. Et dans les filtres nous avons un AOP qui va être branché et qui permettrait de faire varier le gain de l'amplificateur en fonction de la variation des fréquences.

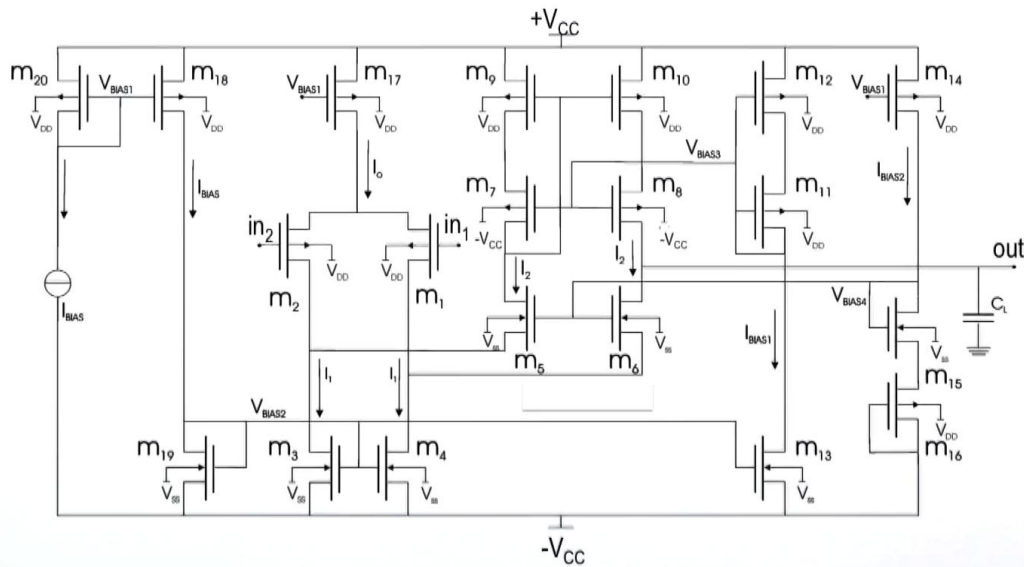
Notes

Summary



0m 04s

Exemple d'un amplificateur opérationnel



Electronique I

Voici un exemple d'un AOP ou plutôt ce qu'on trouve à l'intérieur de l'ampli. Vous voyez beaucoup de transistors. Tous ces transistors vont avoir un rôle pour que cet AOP ait des caractéristiques qu'on va étudier au fur et à mesure qu'on avance dans l'étude de ce chapitre. Donc, comme vous le voyez, c'est très complexe. Il y a pas mal de fonctionnalités au niveau des transistors qui sont de type MOS là-dedans. Ce genre de circuit serait intégré sur une puce ou sur du silicium. Et à la fin, nous ne montrons pas du tout ce qui est à l'intérieur, On va se contenter d'observer une entrée de cet AOP qui est ici, une deuxième entrée qui est là, deux tensions d'alimentation qui amènent l'énergie à ce circuit, et une sortie. Donc finalement, il va y avoir cinq accès à ceci, et ça sera le circuit qui sera représenté par la suite sous forme d'un triangle avec deux entrées, une sortie, et deux tensions d'alimentation.

Notes

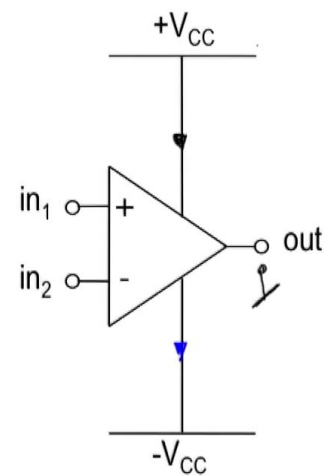
Summary



1m 06s

Amplificateur Opérationnel

- Généralement deux tensions d'alimentation:
 - $+V_{CC}$ et $-V_{CC}$
- Point milieu des alimentations considéré comme une référence de potentiels (GND)



Electronique I

Ce que nous allons voir c'est plutôt le symbole. Une fois que tous ces transistors se trouvent à l'intérieur de ce triangle, ce triangle symbolise l'AOP qui a une entrée positive, une entrée négative, et une sortie. Plus une alimentation positive, une alimentation négative, et c'est très très important. Ces deux alimentations vont alimenter notre circuit électronique avec un courant qui va être positif dans un sens, et un courant qui va être négatif de l'autre côté, et tout ceci en fonction d'un point de référence entre l'entrée et la sortie, qu'on appelle la masse. Donc on a : une alimentation positive, une alimentation négative, et un point en commun entre l'entrée et la sortie qui s'appelle la masse, et ce genre de schéma représente tout ce qu'on a autour du circuit intégré pour l'alimenter et pour donner le point de référence. Par contre, quand on commence à utiliser cet AOP on va arrêter de dessiner le $+V_{CC}$ et le $-V_{CC}$. Il va rester ce potentiel de masse qui est indispensable. Aujourd'hui, on va simplement regarder ça sur ce slide, et dès qu'on sera passé aux circuits basés sur l'AOP, eh bien, le $+V_{CC}$ et le $-V_{CC}$ vont disparaître.

Notes

Summary



2m 09s

Amplificateur Opérationnel Idéal

- Gain idéal:

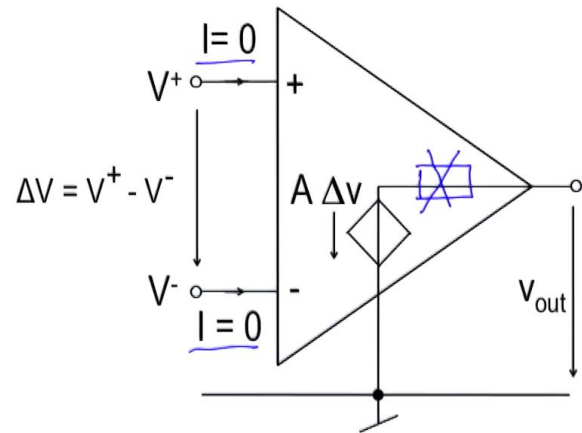
$$\underline{A = \infty}$$

- Résistance d'entrée:

$$\underline{R_{in} = \infty}$$

- Résistance de sortie:

$$\underline{R_{out} = 0}$$



Electronique I

Un AOP idéal comporte des caractéristiques qui lui permettent, d'un côté, d'amplifier avec un gain $A = \infty$; en même temps, il a une résistance d'entrée elle aussi infinie. Ceci signifie que quand vous regardez le courant qui sera absorbé par votre AOP, ça se résume à un courant $I = 0$. On a dit qu'il y a deux entrées. Dans chacune de ces entrées, il n'y a pas de courant qui entre dans cet ampli. Alors cet ampli se contente de recevoir deux tensions, $V(+)$ et $V(-)$, et ces deux tensions seront multipliées par l'infini et renvoyées à la sortie. Quand on observe la sortie, maintenant, la résistance de sortie de cet AOP est égale à zéro. Cela signifie que la résistance, qui aurait dû exister, en série avec cette source de tension commandée que vous voyez à la sortie, cette résistance qui aurait dû être ici, eh bien, elle n'existe pas. Donc on n'a absolument aucune résistance série avec une source de tension commandée qui reçoit une différence de tension $V(+)$ - $V(-)$ qu'on appelle ΔV et qui sera multipliée par un gain $A = \infty$.

Notes

Summary



3m 41s

Amplificateur Opérationnel Idéal

- Gain idéal:

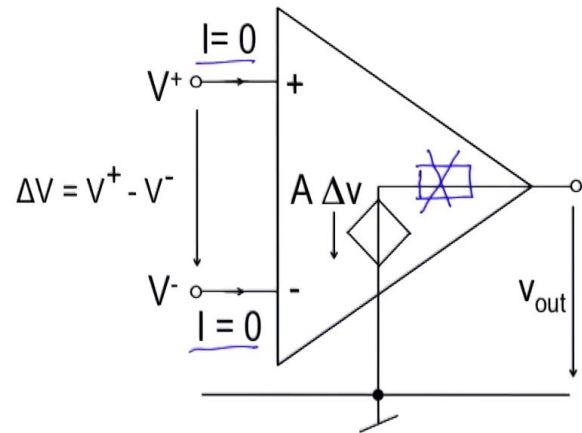
$$\underline{A = \infty}$$

- Résistance d'entrée:

$$\underline{R_{in} = \infty}$$

- Résistance de sortie:

$$\underline{R_{out} = 0}$$



Electronique I

Ces trois caractéristiques montrent qu'un AOP idéalement vu avec : un gain infini, une résistance d'entrée infinie, et une résistance de sortie égale à zéro, ça sera le modèle de l'AOP qu'on va utiliser tout au long de cette introduction avant de commencer à introduire ce qu'on appelle les imperfections de l'AOP, où on va observer qu'il y a un peu des caractéristiques qui ne sont pas aussi idéales que ce qu'on voit avec un AOP idéal.

Notes

Summary

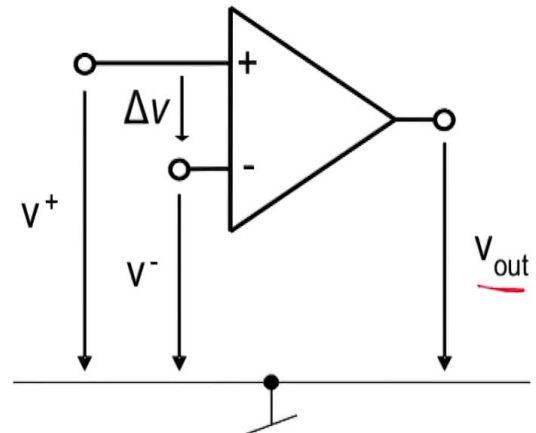


4m 55s

Amplificateur Opérationnel Idéal

$$V_{\text{sat}}^- \leq V_{\text{out}} \leq V_{\text{sat}}^+$$

$$V_{\text{sat}}^+ = +V_{\text{CC}}, V_{\text{sat}}^- = -V_{\text{CC}} \text{ (valeurs par défaut)}$$



Electronique I

Allons un peu plus loin dans l'analyse de cet ampli. Malheureusement, ou plutôt heureusement, la tension de sortie sature. La tension de sortie $V(\text{out})$ ne peut en aucun cas dépasser la tension d'alimentation positive et la tension d'alimentation négative. Ce qui veut dire que $V(\text{out})$ est limitée par ce qu'on appelle $V_{\text{sat}}(+)$ et $V_{\text{sat}}(-)$ qui ne sont rien d'autre que des tensions de saturation, et que la première approximation, on les égalise avec la tension d'alimentation. Il va de soi que sur le marché on trouve des AOP dont la tension de saturation positive et négative ne sont pas de même ordre de grandeur que la tension d'alimentation.

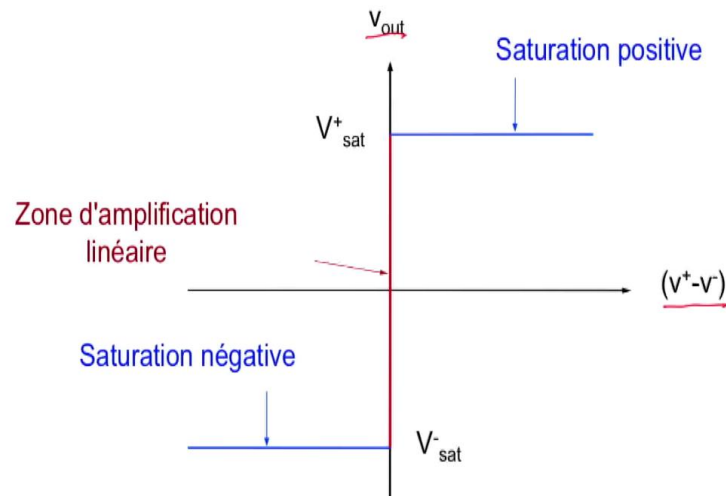
Notes

Summary



5m 27s

Amplificateur Opérationnel en boucle ouverte



Electronique I

Voici la caractéristique qui relie la tension d'entrée $V(+)$ - $V(-)$ à la tension de sortie $V(out)$. On va distinguer deux zones. Une zone de saturation positive et négative, on l'appelle la saturation, on vient de le voir juste avant, et une partie très intéressante de cet AOP qui sera le sujet de l'utilisation de cet AOP dans les circuits linéaires, qu'on appelle la zone d'amplification linéaire. Si vous regardez maintenant comment un AOP va traiter un signal.

Notes

Summary



6m 15s

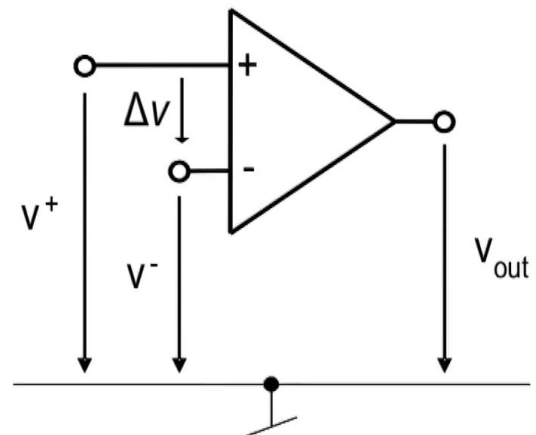
Amplificateur Opérationnel Idéal

$$V_{\text{sat}}^- \leq V_{\text{out}} \leq V_{\text{sat}}^+$$

$$V_{\text{sat}}^+ = +V_{\text{CC}}, V_{\text{sat}}^- = -V_{\text{CC}} \quad (\text{valeurs par défaut})$$

Dans la zone linéaire:

$$V_{\text{out}} = A (V^+ - V^-) = A \Delta v, \text{ avec } A = \infty$$



Electronique I

On vient de dire qu'il a deux tensions de saturation, $V_{\text{sat}}(+)$ et $V_{\text{sat}}(-)$, et là il s'agit d'une non-linéarité parce que nous ne pouvons pas aller au-delà de ça. On perd la linéarité. Et entre ces deux tensions de saturation, on a une droite. Et cette droite-là on l'appelle la zone linéaire, et c'est grâce à cette zone linéaire qu'on va créer la fonction d'amplification de cet AOP. Voyons comment tout ceci va interagir dans un circuit. Revenons sur un petit résumé. On vient de dire que la tension dans un AOP ne peut pas dépasser les deux rails d'alimentation, qu'on a assimilés à $+V_{\text{CC}}$ et $-V_{\text{CC}}$. On vient de dire que la zone linéaire est une zone dans laquelle la tension de sortie est liée à la différence de ces $V(+)$ - $V(-)$ qu'on a appelée ΔV et que multiplie un gain. Et, on vient de le dire, le gain étant infini. On vient de dire que cette partie-là, c'est la partie qui nous intéresse le plus quand on veut faire des circuits linéaires. C'est à l'intérieur de la zone dite linéaire qu'un AOP devrait créer, dans un circuit donné, une relation entre $V(\text{out})$ et une tension d'entrée $V(\text{in})$ qu'on va introduire tout de suite après.

Notes

Summary



6m 47s

Amplificateur Opérationnel Idéal

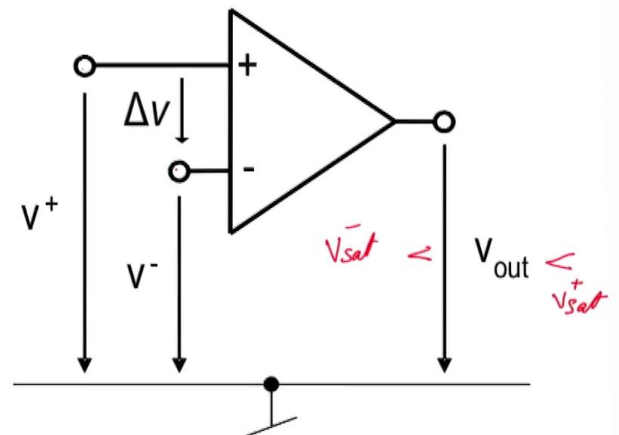
$$V_{\text{sat}}^- \leq V_{\text{out}} \leq V_{\text{sat}}^+$$

$$V_{\text{sat}}^+ = +V_{\text{CC}}, V_{\text{sat}}^- = -V_{\text{CC}} \text{ (valeurs par défaut)}$$

Dans la zone linéaire:

$$V_{\text{out}} = A (V^+ - V^-) = A \Delta v, \text{ avec } A = \infty$$

$$\Delta V = \frac{V_{\text{out}}}{A} = 0 \text{ donc } V^+ = V^-$$



Electronique I

Si nous n'avons pas cette zone linéaire, l'AOP est fondamentalement non-linéaire, il va tendre vers deux niveaux de tension qui le bloquent. Donc ce sont les rails d'alimentation. Dans cette zone linéaire qu'on vient de voir juste avant, on peut le formuler comme ça en français : si la sortie de l'AOP n'est ni $V_{\text{sat}}(+)$ ni $V_{\text{sat}}(-)$ et que la tension de sortie est strictement inférieure à $V_{\text{sat}}(+)$ et strictement supérieure à $V_{\text{sat}}(-)$, eh bien, on peut dire que notre AOP est coincé dans cette relation-là, il est dans la zone dite linéaire. Et là on peut tirer une conclusion très intéressante, c'est que quand l'AOP, qui a un gain infini, car ce A qu'on a ici est égal à infini, quand ce gain est égal à infini, indépendamment de la tension de sortie sachant que cette tension ne peut jamais dépasser les tensions $V_{\text{sat}}(+)$ et $V_{\text{sat}}(-)$, forcément cette différence de tension est égale à zéro. Donc si cette différence est égale à zéro, ce potentiel dans ce nœud-là est égal à ce potentiel dans ce nœud-là. Et cette caractéristique-là, elle va nous permettre de faire énormément de fonctions dans l'électronique, et on va utiliser l'AOP dans une fonctionnalité purement linéaire, et une relation directe $y = x$ va relier $V(\text{out})$ à $V(\text{in})$. On va voir comment est-ce que ça va se concrétiser dans le cadre d'un circuit en contre-réaction, donc grâce à la réaction négative.

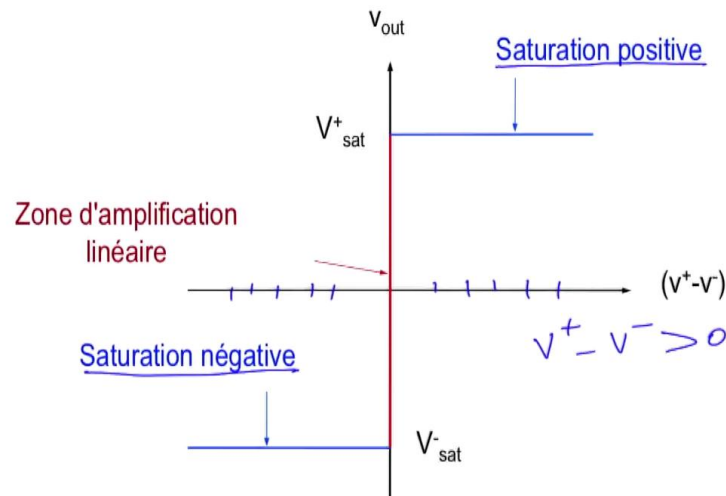
Notes

Summary



8m 05s

Amplificateur Opérationnel en boucle ouverte



Electronique I

Voyons si je peux utiliser mon AOP dans la zone dite saturation positive ou saturation négative, donc c'est une fonction non-linéaire. Pour n'importe quelle valeur de l'entrée $V(+)$ - $V(-)$, indépendamment de cette valeur, on a une valeur unique de la sortie, qui peut être soit là, soit là, c'est un détecteur de signe de cet AOP et on l'appelle comparateur. Donc si $V(+)$ - $V(-)$ est positif, en d'autres termes, si $V(+)$ > $V(-)$, ou en l'occurrence si $V(+)$ < $V(-)$, on va se retrouver avec la sortie saturée, soit sur la saturation positive, soit sur la saturation négative, qui va nous amener à utiliser l'AOP dans une fonction non-linéaire.

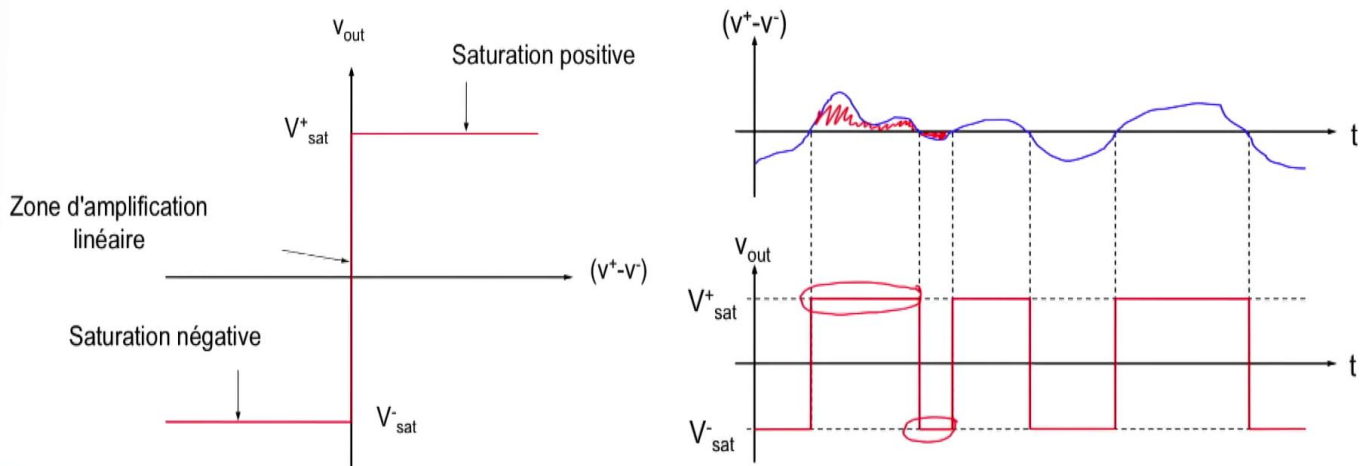
Notes

Summary



9m 42s

Amplificateur Opérationnel en boucle ouverte



Electronique I

Voilà un exemple qui exploite cette caractéristique. Prenez un signal complètement variable, qui varie en fonction du temps. et regardez comment l'AOP va réagir à la sortie pour détecter si le signal est positif, donc toute cette partie-là va nous permettre de trouver une tension à la sortie tout le temps égale à $V_{sat}(+)$. Et toute cette partie ici va nous amener à découvrir une tension qui est tout le temps négative. Donc avec une tension binaire, si c'est $V_{sat}(+)$, on va dire que la tension est positive, et si c'est $V_{sat}(-)$, on va dire que la tension est négative. Donc avec ceci, on a un détecteur de signe à l'entrée qui nous montre si $V+ > V-$ ou si $V+ < V-$. Bien sûr, il y a plein d'applications. Nous verrons ceci quand on analyse l'AOP en boucle ouverte avec des applications de l'AOP, ou quand on utilise l'AOP en réaction positive.

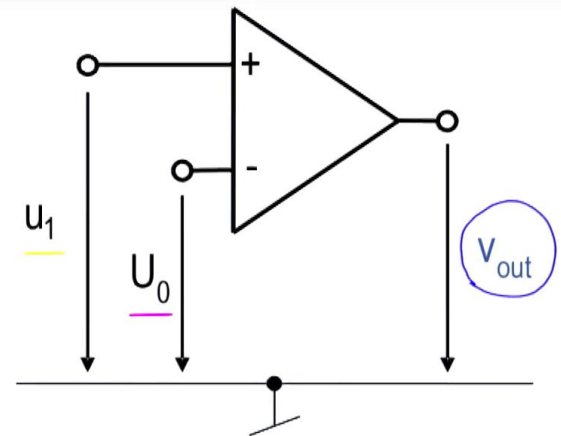
Notes

Summary



10m 28s

Exemple: Modulation PWM



u_1 : tension triangulaire

U_0 : tension continue

Electronique I

Et ceci nous amène aussi à voir des applications telles que ceci : Il y a une technique qui s'appelle la modulation par largeur d'impulsion, qui utilise un AOP en boucle ouverte. Voici le schéma d'un AOP en boucle ouverte où on s'intéresse à la tension de sortie. Lorsqu'on va comparer à l'entrée une tension continue, $U(0)$, qui est branchée sur la borne négative, en couleur violette, et sur la borne positive, la tension $U(1)$, je vais brancher une tension triangulaire. On va voir ici une tension triangulaire sur l'entrée $U(1)$. Et on va s'intéresser à ce qui va apparaître sur la sortie, et là on aurait en couleur bleue une tension $V(out)$. Ce que je vous invite, vous pouvez aller brancher ça dans un laboratoire ou faire un exercice et juste analyser ce qui va se passer. J'avais fait ça pour vous, donc juste à côté vous allez observer, lorsqu'on compare une tension continue à une tension triangulaire et observer la largeur d'impulsion à la sortie d'un AOP qui va devenir de plus en plus étroit ou large en fonction de la valeur de la comparaison pour faire une technique de modulation extrêmement connue, qui s'appelle le PWM, ou « modulation par largeur d'impulsion ».

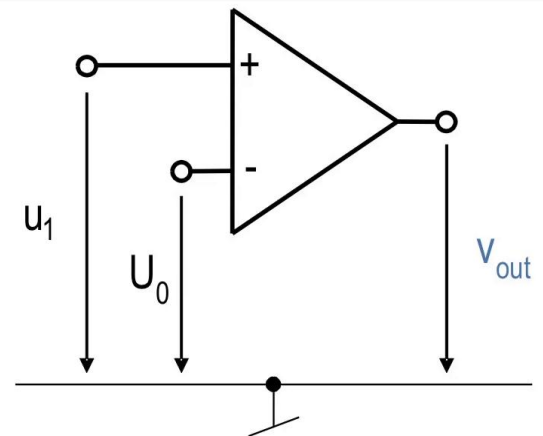
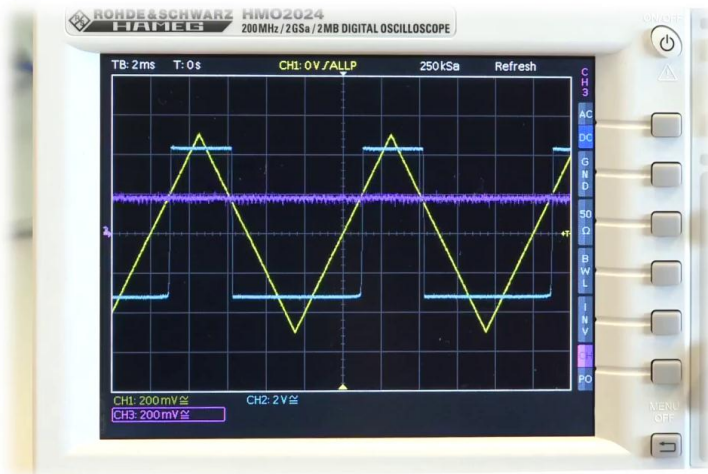
Notes

Summary



11m 37s

Exemple: Modulation PWM



u_1 : tension triangulaire

U_0 : tension continue

Electronique I

Eh bien, on va avoir maintenant la tension DC qui est en couleur violette, qui est comparée à la tension en jaune qui est triangulaire, et on va aller observer ce qui se trouve à la sortie, qui est la tension bleue, qui correspond à V_{out} . Donc on observe clairement que si la tension triangulaire est supérieure au DC, la sortie est à $V_{sat}(+)$ ou à $V_{sat}(-)$. On est en train de déplacer la tension d'entrée, et on regarde l'impulsion V_{out} qui est en train de bouger exactement par comparaison du signal triangulaire et de la tension DC qui est à l'entrée. Donc l'impulsion devient de plus en plus étroite, Et quand on baisse la tension DC, on va tout de suite observer que la largeur d'impulsion se fait moduler par cette comparaison, qui est très très visible sur l'écran d'un oscilloscope.

Notes

Summary

13m 01s

