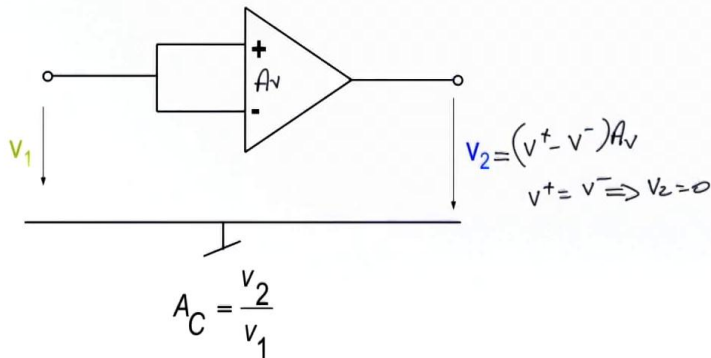


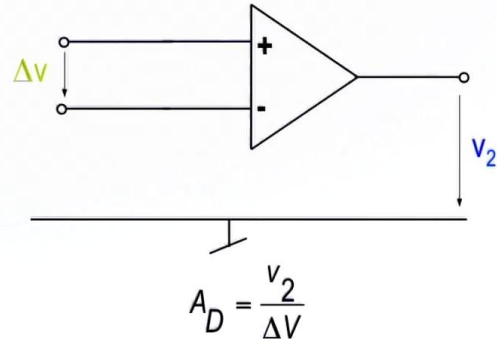


# Taux de réjection du mode commun

## • Gain de mode commun



## • Gain en mode différentiel



Taux de réjection du mode commun: CMRR

$$CMRR = \frac{A_D}{A_C} [dB]$$

Electronique I

Encore une imperfection de l'amplificateur, c'est ce qu'on appelle le mode commun de l'amplificateur. Regardez ce schéma-là. J'ai pris un amplificateur opérationnel et j'ai court-circuité à l'entrée le plus au moins. Donc j'ai appliqué la même tension au  $V^+$  et au  $V^-$ . Je vous rappelle que la tension  $v_2$  est égale à  $V^+ - V^-$  multiplié par le gain en boucle ouverte de l'ampli. Quand il y a un gain en boucle ouverte. Si  $V^+$  est égal à  $V^-$ , ce qui est le cas ici, ceci... Donc si on a  $V^+$  égal à  $V^-$ , ceci devrait nous donner une tension  $v_2$  égale à zéro. Et malheureusement, un amplificateur ne vous donnerait pas une tension  $v_2$  égale à zéro. Vous allez vous retrouver avec une tension qui n'est pas nulle. Et que c'est la tension que vous avez branchée sur les deux bornes, positive et négative, parce que l'amplificateur a un gain qui s'appelle le gain de mode commun et qui est aussi donné par le fabricant et qui vous dit que votre amplificateur a un faible gain et ce faible gain il va prendre le rapport  $v_2/v_1$  et avoir une certaine valeur que le fabricant vous donne et égal à ce fameux  $A_C$ .

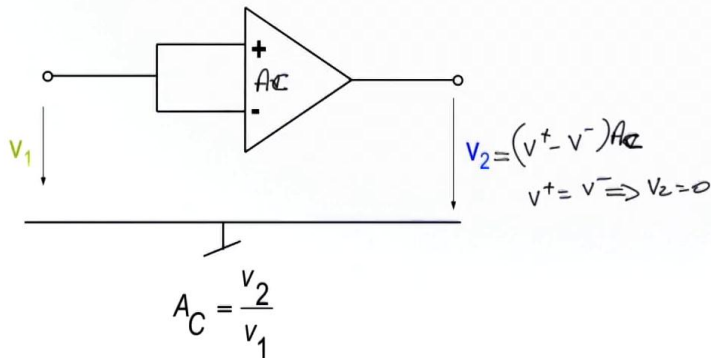
Notes

Summary

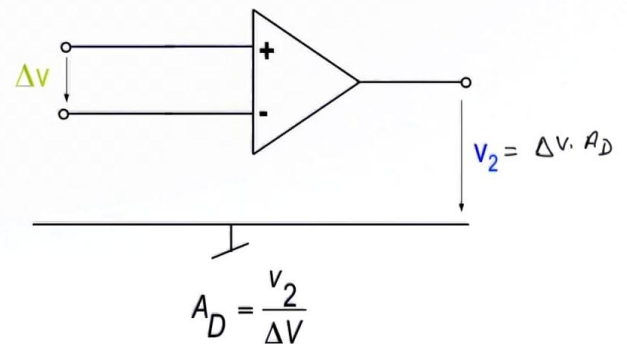


# Taux de réjection du mode commun

- Gain de mode commun



- Gain en mode différentiel



Taux de réjection du mode commun: CMRR

$$CMRR = \frac{A_D}{A_C} [dB]$$

Electronique I

Donc vous aurez  $v_2$  qui n'est pas égal à zéro, malgré le fait que fondamentalement on s'attend à ce que l'ampli se comporte comme ça. Donc il va prendre  $v_2$  égal à  $\Delta V$  multiplié par le gain différentiel. Ce gain différentiel, c'est un gain qui est donné et c'est le gain en boucle ouverte de votre ampli. Par contre, le gain en mode commun... Pardon, ici j'ai noté  $V$ , c'est un  $C$ . Le gain en mode commun de votre amplificateur, c'est un gain qui s'appelle  $AC$  et que ce gain  $AC$  va multiplier la différence entre  $V^+$  et  $V^-$ . Et le gain  $AD$ , le gain différentiel, va multiplier ce  $V^+ - V^-$  par un gain qui correspond au gain en boucle ouverte de l'amplificateur. Les fabricants vous le présentent sous forme d'un terme qu'on appelle taux de réjection du mode commun, qui est le  $CMRR$ , qui est un rapport entre ce gain différentiel divisé par le gain en mode commun. Et ce gain  $CMRR$ , ou plutôt ce rapport  $CMRR$  entre  $AD$  et  $AC$  est censé être une valeur extrêmement élevée parce que le gain différentiel d'un ampli est censé être très, très grand. Rappelez-vous, c'est censé être infini.

Notes

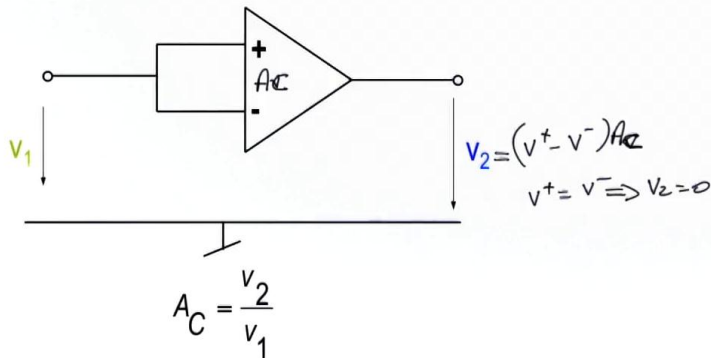
Summary



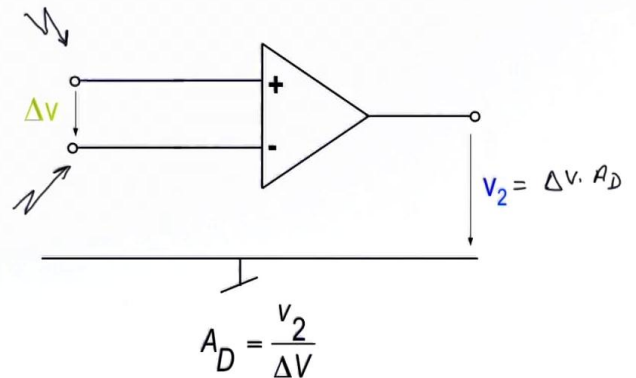
1m 25s

# Taux de réjection du mode commun

## • Gain de mode commun



## • Gain en mode différentiel



Taux de réjection du mode commun: CMRR

$$CMRR = \frac{A_D}{A_C} [dB]$$

Electronique I

Et le gain en mode commun est censé être très faible. Et justement, le rapport de quelque chose de très grand sur quelque chose de très faible est censé quand même nous donner un *CMRR* qui est très élevé. Donc on préfère un amplificateur qui a un très grand *CMRR*, donc il est capable de rejeter la réjection du mode commun, donc ne pas avoir un comportement que si prenez votre ampli et que votre ampli reçoit des parasites externes sur la borne positive et négative et que ces parasites sont les mêmes sur le + et le -, on n'aimerait pas du tout avoir le mode différentiel affecté par ces parasites et on aimerait bien que le gain différentiel domine par rapport à ce gain en mode commun. Donc on est en train de dire, quand on a un amplificateur et on a les mêmes parasites externes qui arrivent sur le + et le -, il va subsister une contribution de ces parasites et c'est ce *CMRR* qui nous permet de détecter quelle est la quantité de ces parasites qui vont subsister et rester à la sortie de notre amplificateur.

Notes

Summary



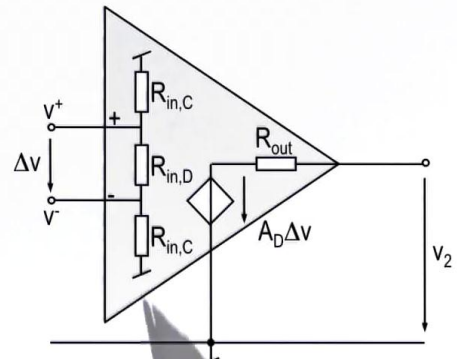
# Impédance d'entrée et de sortie

Ordres de grandeur

$R_{in,C} \gg 100 \text{ M}\Omega$

$R_{in,D} \gg 1 \text{ M}\Omega$

$R_{out} \gg 75 \Omega$



Electronique I

Assez rapidement, on va regarder un modèle d'un amplificateur réel en terme d'impédance d'entrée et d'impédance de sortie. On a toujours dit qu'il n'y a pas de courant qui entre dans l'amplificateur sur les bornes + et -. Ce n'est pas le cas. S'il n'y a pas eu d'impédance à l'entrée de l'ampli, eh bien, on aurait eu un courant ici égal à zéro. Le modèle exact d'un amplificateur tel qu'il a été présenté au début, c'est qu'il n'y avait pas cette résistance, ni celle-ci, ni celle-ci. Il y avait une source de tension commandée et une résistance de sortie  $R_{out}$  et on a considéré que  $R_{out}$  est égale à zéro, qu'elle n'existe pas. En réalité, un modèle complet d'un amplificateur opérationnel contient une résistance de sortie. Cette résistance de sortie est faible. Et quand on contre-réactionne un amplificateur, elle est divisée par le taux de contre-réaction, donc elle est encore plus faible que celle qui est donnée par le fabricant parce qu'elle sera améliorée par le taux de contre-réaction. Et la nature de l'électronique que nous avons utilisé à l'intérieur pour réaliser l'entrée positive et négative risque d'avoir un certain courant qui serait absorbé.

Notes

Summary



3m 45s

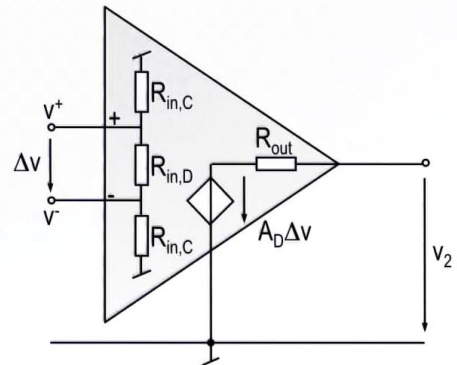
# Tension de décalage ou d'offset

Ordres de grandeur

$R_{in,C} \gg 100 \text{ M}\Omega$

$R_{in,D} \gg 1 \text{ M}\Omega$

$R_{out} \gg 75 \Omega$



Electronique I

Et ce courant qui serait absorbé, il serait présenté par une résistance qu'on appelle  $R_{inC}$  et  $R_{inD}$ . Donc ces deux résistances sont des résistances de mode commun. Et une résistance différentielle entre le + et le - et qui correspond à des ordres de grandeur d'un amplificateur quand il est réalisé en technologie bipolaire. Donc si les transistors utilisés sont des transistors bipolaires, on a ce genre d'ordres de grandeur pour des résistances d'entrée et l'impédance de sortie, ou la résistance de sortie d'un ampli, elle pourrait être bien plus faible que ces  $75 \Omega$  qui sont affichés ici. Et tout ça, c'est une histoire de réalisation pratique sous forme de microélectronique. Mais sachez que le fabricant, quand il vous vend un ampli, il vous présente ces trois valeurs et ces trois valeurs peuvent être modélisées de cette manière pour tenir compte de ce genre d'imperfections.

Notes

Summary

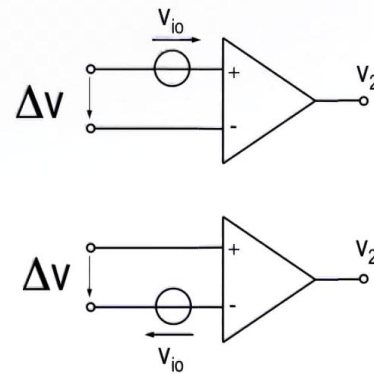
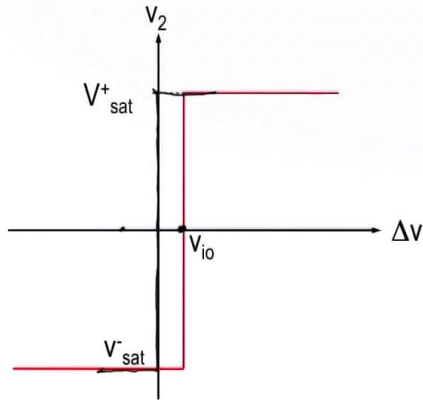


5m 00s

# Tension de décalage ou d'offset

- Tension d'offset  $V_{io}$  ramenée à l'entrée et de quelques mV à quelques  $\mu V$ , selon le type de l'AO

- Modèles



Electronique I

Une autre source d'imperfection de l'ampli s'appelle la tension de décalage ou la tension d'offset. Quand on a pris la caractéristique de la tension de sortie par rapport à la différence de  $V^+ - V^-$ , on avait cette courbe-là, qui était absolument confondue avec l'axe ici. Donc cette courbe passe par l'origine. Et là, on est entrain de dire : «Non, il y a une tension de décalage.» Donc la courbe, au lieu qu'elle soit comme ceci, elle est avec cette courbe rouge. Donc elle peut être décalée, soit dans ce sens-là, soit dans ce sens-là, d'une valeur  $V_{io}$ , qu'on appelle la tension d'offset de l'amplificateur. Donc cette tension est aléatoire. Elle a une distribution gaussienne. Elle pourrait se retrouver soit comme ça, soit comme ça. Dans le même lot fabriqué par la même fonderie de silicium, vous pouvez avoir des amplificateurs ayant des tensions d'offset positives ou des tensions d'offset négatives. Ceci est lié à des processus de fabrication et de ce qu'on appelle l'appariement ou de à quelle exactitude les transistors qui ont été réalisés à l'intérieur de l'ampli sont semblables et arrivent à se compenser l'un l'autre sans créer une tension de décalage.

Notes

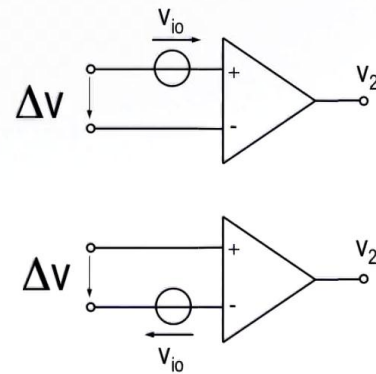
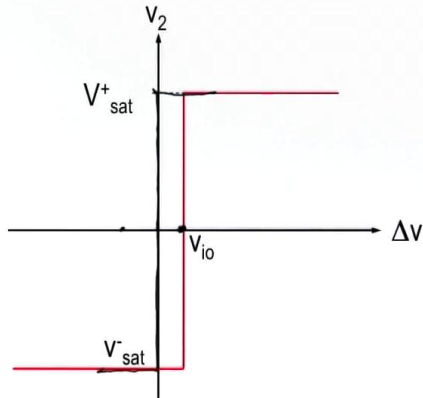
Summary



# Tension de décalage ou d'offset

- Tension d'offset  $V_{io}$  ramenée à l'entrée et de quelques mV à quelques  $\mu V$ , selon le type de l'AO

## • Modèles



Electronique I

Et malheureusement, nous n'arriverons à annuler cette tension que par des techniques assez poussées électroniquement et que c'est un modèle d'une tension. Cette tension ne se mesure pas de cette manière. Vous ne pouvez pas venir brancher un voltmètre de part et d'autre parce qu'elle n'existe pas. C'est un modèle. C'est un modèle juste pour montrer que l'ensemble des effets électroniques ramené à l'entrée peut apparaître sous forme d'une tension qu'on appelle la tension d'offset. Et que le fabricant, nous donne une valeur typique, une valeur minimum et une valeur maximum avec une distribution gaussienne de cette tension d'offset.

Notes

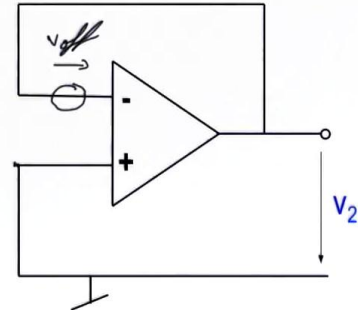
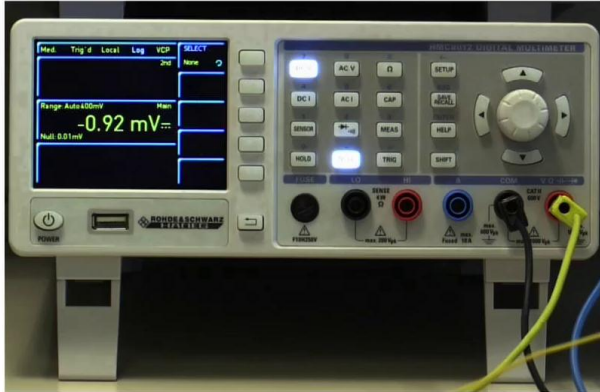
Summary



7m 27s



# MESURE DE L'OFFSET



Electronique I

Si nous souhaitons mesurer l'*offset* d'un amplificateur opérationnel, il suffit de la brancher en suiveur. Vous prenez un amplificateur opérationnel, vous le branchez en suiveur. Donc vous prenez l'entrée positive, vous la branchez sur la masse et vous branchez un voltmètre à la sortie, ce que je suis en train de faire ici. J'ai pris un amplificateur de type 741. Je l'ai connecté en suiveur. Donc c'est un ampli qui a un gain en boucle ouverte très élevé. Donc cette tension-la, qui est censée être le zéro, puisqu'on l'a connectée physiquement à zéro, cette tension d'*offset*, elle serait soit là, soit de l'autre côté. Simplement, elle apparaît modélisée à l'entrée et que cette tension d'*offset*, c'est le décalage entre ce nœud-là copié à ce nœud-là et ajouté et ramené à la sortie et que lorsque je mesure la tension de sortie  $v_2$  par rapport à la masse, et bien, c'est ce que mon voltmètre est en train d'afficher et là, je vois que j'ai de l'ordre de grandeur de 1mV d'*offset* de cet amplificateur que je suis en train de mesurer. Bien sûr, si je change le circuit, je mets un autre, je vais voir une autre tension d'*offset*. Les fabricants prévoient deux bornes.

Notes

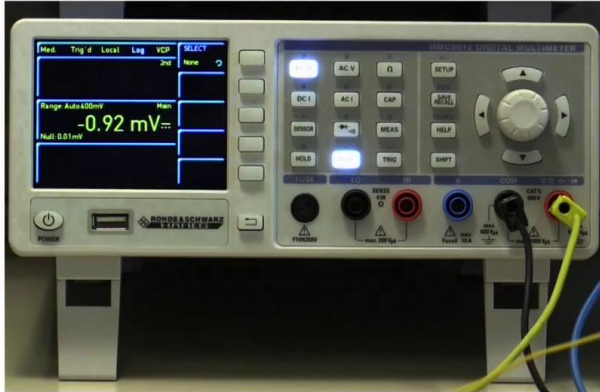
Summary



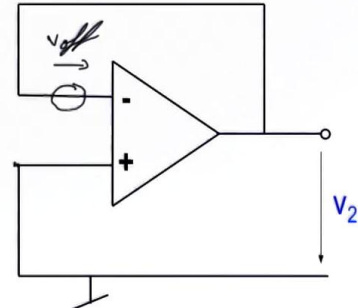
8m 04s

# MESURE DE L'OFFSET

- Courant d'entrée pourrait être entrant ou sortant



- Modèle:



Electronique I

Et sur ces deux bornes, physiquement, nous pouvons brancher un potentiomètre externe et nous pouvons ajuster le potentiomètre pour baisser cette tension. Mais il faut savoir que cette tension, elle *drift*, elle change. Nous ne pouvons pas la maintenir tout le temps à une valeur donnée parce qu'elle change par rapport à différents paramètres, notamment la température. Donc nous ne pouvons pas compenser l'*offset* et le maintenir. Il faudra tout le temps agir sur l'amplificateur pour annuler son *offset*.

Notes

Summary



# Courants de polarisation des entrées

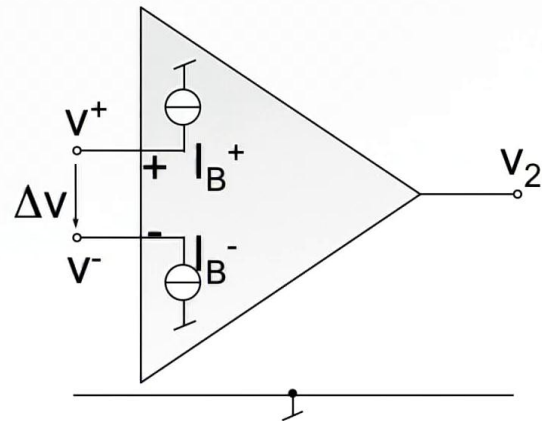
- Courant d'entrée pourrait être entrant ou sortant
- Modèle:

- Courant de polarisation moyen:

$$I_B = \frac{I_B^+ + I_B^-}{2}$$

- Courant de décalage ou courant d'offset:

$$I_{off} = |I_B^+ - I_B^-|$$



Electronique I

Alors pour finir avec les imperfections d'un amplificateur opérationnel, nous allons voir le fait que le courant qui passe dans les bornes positives et négatives n'est pas vraiment égal à zéro. En réalité, il y a un courant. Ça dépend de la technologie des transistors que nous utilisons à l'intérieur. Parfois, ce courant peut aller jusqu'à des nanoampères ou c'est des courants de fuite qui sont extrêmement faibles. Donc, les fabricants de ces amplificateurs opérationnels vont chaque fois nous parler de deux paramètres d'imperfection. Ils vont donner le courant  $I_B^+$  et le courant  $I_B^-$ . Ils le présentent comme étant un courant de polarisation moyen. Donc ils vont prendre la somme des deux et le diviser par deux et ça nous donne une valeur moyenne du courant qui passe dans l'un ou dans l'autre. Il faut se rappeler que, comme l'offset, la tension de l'offset, ce courant est toujours différent de l'autre. On ne peut pas garantir que ce courant est égal à ça, l'un égal à l'autre. Par contre, une valeur moyenne est donnée par le fabricant. Et pour finir, il nous donne une sorte de distribution statistique aussi de la différence entre les deux, qu'on appelle le décalage ou courant d'offset.

Notes

Summary



9m 57s

# Conclusion



Electronique I

Donc c'est la différence entre ce courant moins ce courant. Il faut aussi savoir que ce courant, on ne peut pas savoir s'il est entrant ou sortant. Il peut être dans les deux sens. Nous venons de voir maintenant les imperfections de l'amplificateur. Ça semble être quelque chose que tant que l'amplificateur est en train de jouer son rôle dans un circuit, il suffit de prendre l'ampli et de l'utiliser en imaginant que ses imperfections sont idéalisées. Malheureusement, dans la vie réelle, quand on prend un amplificateur opérationnel et que nous souhaitons l'utiliser à des fréquences très élevées, nous sommes très, très vite confrontés au fait que trouver un amplificateur qui a une fréquence très élevée va souffrir d'un gain très faible. Et vice versa. Pareil pour le *slew rate*. Si vous souhaitez prendre un amplificateur qui a une consommation très faible, sachez que son *slew rate* il va aussi afficher un *slew rate* qui va être très élevé. Et que plus vous prenez un amplificateur qui gaspille plus d'énergie pour son utilisation, plus le *slew rate* va être de mieux en mieux et votre amplificateur arrive à suivre à des variations à la sortie de plus en plus élevées.

Notes

Summary



11m 09s

# Courants de polarisation des entrées

- Courant d'entrée pourrait être entrant ou sortant

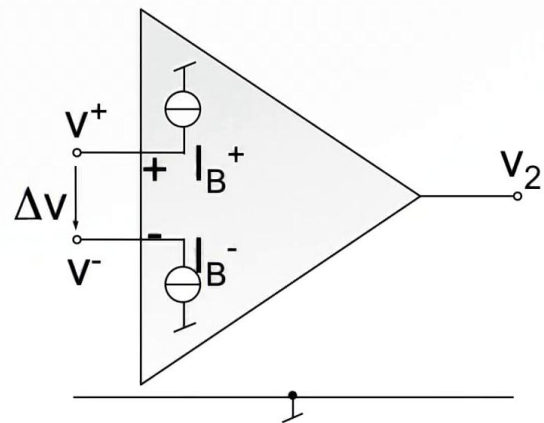
- Modèle:

- Courant de polarisation moyen:

$$I_B = \frac{I_B^+ + I_B^-}{2}$$

- Courant de décalage ou courant d'offset:

$$I_{off} = |I_B^+ - I_B^-|$$



Electronique I

Et cetera, et cetera... Toutes ces imperfections sont liées l'une à l'autre et sont liées à des techniques d'implémentation de l'électronique qui se trouvent à l'intérieur. Et malheureusement, il n'y a pas un seul amplificateur qui arrive à répondre à toutes ces caractéristiques. Il y a un avantage quelque part et un inconvénient quelque part, tout dépend de l'application. Donc le chapitre sur les imperfections de l'amplificateur est un des chapitres les plus importants parce que grâce à ces valeurs, nous arriverons à choisir le bon amplificateur pour la bonne application.

Notes

Summary



12m 21s