

- Introduction
- Structures analogiques en cascade
- Analyse et estimations des paramètres

Electronique II

Bien, par rapport à ce qu'on vient de voir dans la vidéo avant, j'ai promis qu'on va maintenant passer à l'utilisation de ces fonctions et structures analogiques. Et nous allons constituer ensemble un amplificateur opérationnel, qui est fait avec trois étages qui se suivent.

Notes

Summary



0m 05s

Amplificateur Opérationnel Idéal

- Gain idéal:

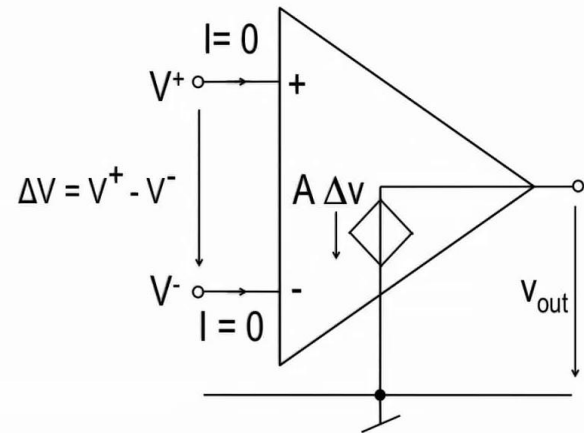
$$A = \infty$$

- Résistance d'entrée:

$$R_{in} = \infty$$

- Résistance de sortie:

$$R_{out} = 0$$



Electronique II

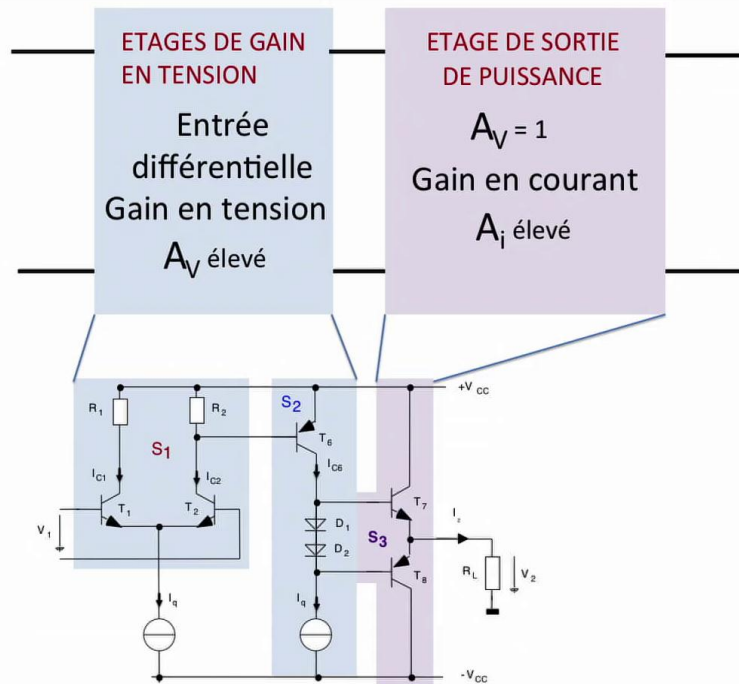
Avant de commencer, voir ce que l'on va faire, j'aimerais bien vous rappeler ce qu'est un amplificateur opérationnel. Donc, un amplificateur opérationnel, on lui a donné ces caractéristiques que vous voyez ici. On aimerait bien que, idéalement, nous possédons un gain A infini ou un gain en tout cas très, très élevé. Nous souhaitons qu'il n'y ait pas de courant qui entre dans la bande positive et négative, sinon, on va avoir un courant ici extrêmement faible. Donc, ceci se ramène à dire : l'impédance d'entrée est infinie. Nous souhaitons pouvoir tirer de là un courant infini sans pour autant que la tension soit perturbée. Cela revient à dire que la résistance série, qu'on aurait vu ici, est égale à zéro. Avec ces trois caractéristiques, je peux les dire, il faut constituer dans cette boîte noire qui contient une entrée +, une entrée -, une sortie en tension, je devrais atteindre un gain très grand. Je devrais faire en sorte que les entrées possèdent des impédances très élevées, et que la sortie possède une impédance très faible. Et partons dans l'analyse de ce qui va se trouver dedans.

Notes

Summary



Etages d'un amplificateur opérationnel



Electronique II

Si je transforme en étages, pour un amplificateur opérationnel, je pourrais dire, étant donné que je dois faire un étage qui fait du gain, alors faisons: étages peut être avec "s", étage sans "s", il y aura un seul étage qui fait un gain infini ou un étage, ou 2 étages ou 3 étages, qui font un gain en tension infini mais qui possèdent aussi une entrée différentielle parce que je voudrais faire de la contre-réaction avec la borne négative, et en même temps, je voudrais que le courant qui passe, soit très, très faible. Il va falloir aussi que je fasse un étage de sortie, et cet étage de sortie devrait peut être pas contribuer dans le gain et, en tout cas, avoir un gain au courant très élevé, c'est-à-dire, il doit avoir une impédance d'entrée très faible avec un courant de sortie qui va être très grand. Si vous regardez ces couleurs que j'ai mis là, et vous verrez que j'ai utilisé deux étages pour réaliser ce que j'appelle l'étage de gain, c'est pour ça qu'il y a le "s" ici, et un étage pour réaliser l'étage de sortie. Et on va prendre cette structure là et commencer à l'étudier en long et en large, et après je vais vous demander de le faire en exercice et calculer le gain avec des chiffres après cette vidéo.

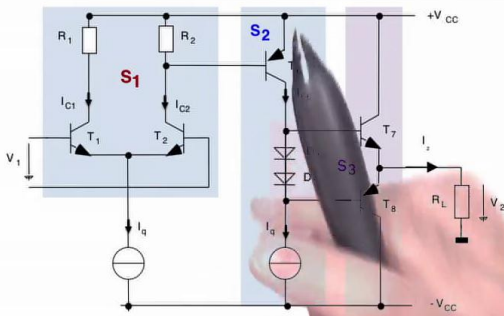
Notes

Summary

1m 40s



Structures à trois étages et une polarisation



S1: étage d'entrée formé d'une Paire Différentielle(P-D) avec une charge passive avec sortie asymétrique.

S2: étage intermédiaire Emetteur Commun (E-C) qui génère un grand gain en tension grâce à une charge active.

S3: étage de sortie push-pull de grande impédance d'entrée et de faible impédance de sortie avec un gain en tension unitaire, mais un gain en courant $\beta \gg 1$ capable de fournir du courant à la charge R_L .

Electronique II

Prenons ceci et regardez ce que j'ai noté. Vous vous souvenez, j'ai appelé ça "structure analogique". Donc "S" comme Structure, où j'ai S1, S2, S3, j'ai trois structures ici. Je vais lire ce que j'ai noté en face: je l'ai appelé S1: S1 est un étage d'entrée formé d'une paire différentielle, donc l'étage est formé d'une paire différentielle avec une charge passive et une sortie asymétrique. Pourquoi asymétrique? Parce que si vous vous souvenez, une paire différentielle, je peux sortir là et là à la fois, mais là, j'ai décidé de sortir d'un seul côté donc j'ai une sortie unilatérale, juste pour lire la tension qui part de ce côté là. La structure S2 est un étage intermédiaire, de type Emetteur Commun, qui doit posséder un grand gain pourquoi je n'ai pas noté ça ici, et bien je n'ai pas parlé du gain ici, parce que, si vous avez remarqué, dans la façon d'intégrer cette chose ou de réaliser ce circuit, j'ai opté de mettre une résistance passive, donc généralement, quand on a une résistance passive ici, le gain est relativement faible, ça c'est d'un côté... De l'autre côté, le fait d'avoir branché cet étage ici, je suis condamné de voir l'impédance d'entrée de cet étage.

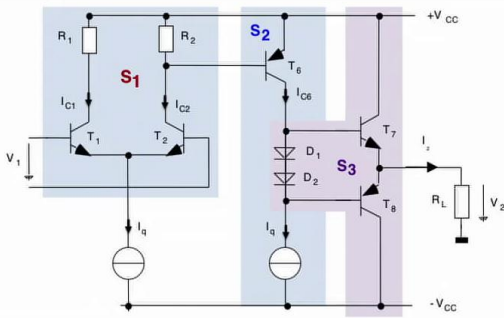
Notes

Summary



3m 00s

Structures à trois étages et une polarisation



S1: étage d'entrée formé d'une Paire Différentielle(P-D) avec une charge passive avec sortie asymétrique.

S2: étage intermédiaire Emetteur Commun (E-C) qui génère un grand gain en tension grâce à une charge active.

S3: étage de sortie push-pull de grande impédance d'entrée et de faible impédance de sortie avec un gain en tension unitaire, mais un gain en courant $\beta \gg 1$ capable de fournir du courant à la charge R_L .

Electronique II

L'impédance d'entrée de cet étage c'est $1/G_{be}$ dans le transistor qui est généralement pas si grand que ça, donc ça ne sert à rien de mettre une charge active ici, je vais être condamné à utiliser une charge ici de nature passive parce que je casse le gain par l'impédance d'entrée que je vois ici. Si nous prenons ça, et nous regardons l'étage jusqu'au bout, je verrais que S2 possède un grand gain grâce à une charge active parce que j'ai mis une résistance infinie. J'ai pris le collecteur de ce transistor, je fais abstraction de ces deux diodes, parce que ces deux diodes en terme de AC, c'est pratiquement deux résistances série, ce sont les résistances différentielles des deux diodes qu'on peut négliger ici, et en série avec cette immense impédance, cette immense impédance est une source de courant donc, en terme de résistance, c'est une résistance infinie. Bien sûr, cet étage là devrait voir une impédance d'entrée, ici, qui soit très, très grande sinon je risque de lui casser le gain. Et je finis avec la structure S3 qui est ici, c'est un montage "push/pull" linéarisé avec deux diodes: D1 et D2.

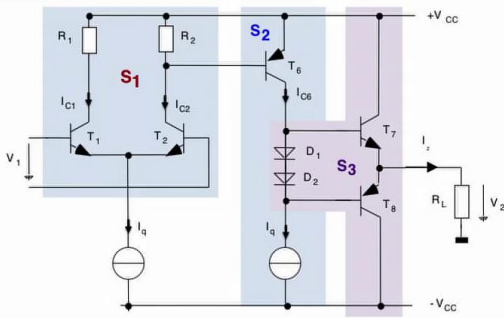
Notes

Summary



4m 21s

Structures à trois étages et une polarisation



S1: étage d'entrée formé d'une Paire Différentielle(P-D) avec une charge passive avec sortie asymétrique.

S2: étage intermédiaire Emetteur Commun (E-C) qui génère un grand gain en tension grâce à une charge active.

S3: étage de sortie push-pull de grande impédance d'entrée et de faible impédance de sortie avec un gain en tension unitaire, mais un gain en courant $\beta \gg 1$ capable de fournir du courant à la charge RL.

Electronique II

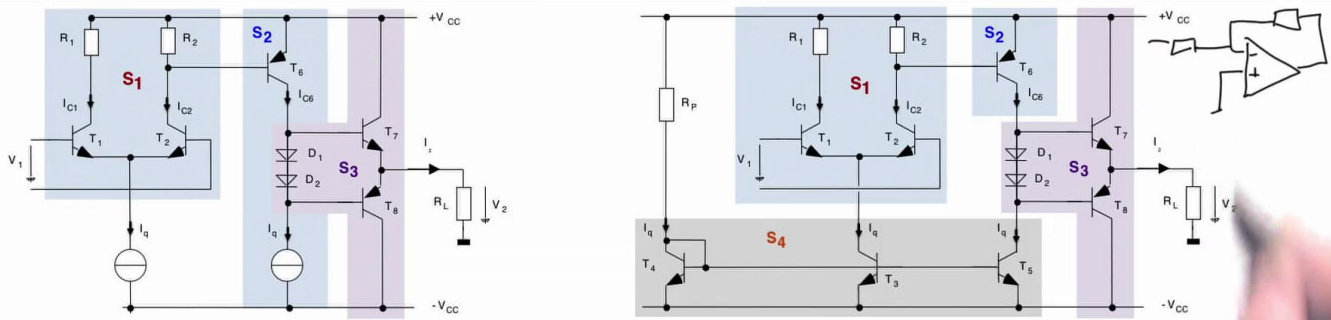
donc je le lis: étage de sortie push/pull de grande impédance d'entrée, donc je suis censé avoir une grande impédance d'entrée ici et faible impédance de sortie, ce qui est normal, là, j'ai une faible impédance de sortie parce que je sors sur des émetteurs et, si vous vous souvenez, l'impédance d'un émetteur est très faible avec un gain de tension unitaire, donc c'est un gain égal à 1 mais un gain en courant bêta très élevé, assez souvent, à la place d'un simple transistor, là et là, nous mettons des transistors Darlington pour profiter de bêta 1 x bêta 2 de deux transistors, qui nous permet d'avoir des bêta extrêmement élevés. Donc ceci est capable de fournir un courant dans la charge RL en tenant compte d'un faible courant qui rentre ici beaucoup de courant qui passe de là, n'oubliez pas que le courant de sortie passe comme ça. Donc là, je prends très peu de courant de commande je multiplie par le bêta et la majorité du courant je le tire par là dans la charge ou depuis la masse, vers l'autre transistor. Donc il reste deux étages ici, ce sont des sources de courant qui ne sont pas réalisés avec des transistors. Alors je vais prendre le schéma complet qui va être le suivant: ça, c'est le schéma conceptuel, ça, c'est le schéma complet.

Notes

Summary



Structures à trois étages et une polarisation



- S1:** étage d'entrée formé d'une Paire Différentielle(P-D) avec une charge passive avec sortie asymétrique.
- S2:** étage intermédiaire Emetteur Commun (E-C) qui génère un grand gain en tension grâce à une charge active.
- S3:** étage de sortie push-pull de grande impédance d'entrée et de faible impédance de sortie avec un gain en tension unitaire, mais un gain en courant $\beta \gg 1$ capable de fournir du courant à la charge R_L .
- S4:** polarisation avec un miroir de courant à sorties multiples. T4 monté en diode en est l'entrée, T3 et T5 en sont les sorties qui se comportent comme des sources de courant constant I_q . T3 polarise la P-D et T5 est la charge active de l'E-C.

Electronique II

La différence, c'est que j'ai remplacé les charges actives par des schémas de charges actives c'est-à-dire, je prends un miroir de courant, je l'appelle S4, et je l'ai utilisé ici. Pour polariser ma pte différentielle et là, pour réaliser une charge active. Regardez la différence du même miroir de courant, qui prend la même polarisation et qui génère le même courant de polarisation. Ce transistor là, il est amené à avoir une variation de tension, ce transistor là n'est pas amené à avoir une variation de tension parce que si vous prenez cet amplificateur opérationnel et si vous décidez que, votre ampli est quelque chose qui va être comme ça, je vais le mettre en montage suiveur où plutôt en inverseur. Il y a une des entrées de la borne positive qui est connectée à la masse, ce qui veut dire, qu'il y a une des entrées connectées ici à la masse et dès qu'elle est connectée à la masse, la chute de tension de 0.7 volts est directement amené sur ce nœud là, ce nœud là est stable parce qu'on a mis une tension stable ici et la toute petite variation, ici, elle est due à la conductance de sortie quand j'ai un mode commun qui peut bouger ou des imperfections de mon amplificateur opérationnel.

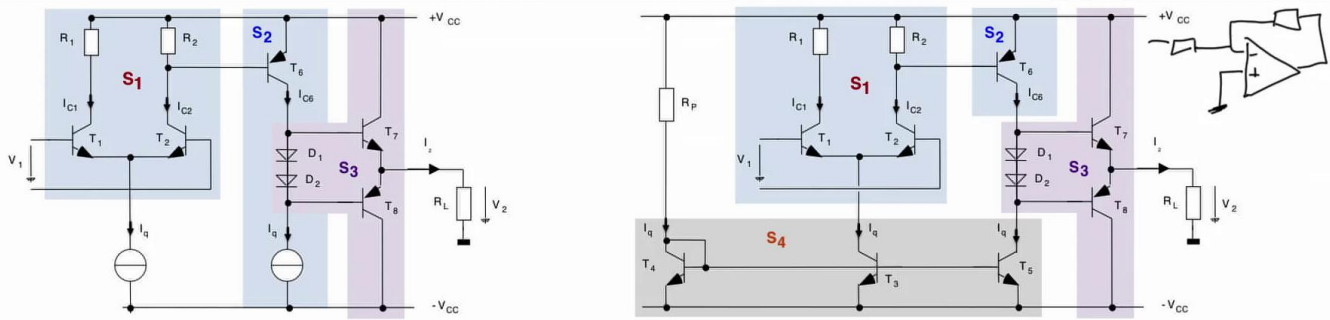
Notes

Summary



6m 51s

Structures à trois étages et une polarisation



- S1:** étage d'entrée formé d'une Paire Différentielle (P-D) avec une charge passive avec sortie asymétrique.
- S2:** étage intermédiaire Emetteur Commun (E-C) qui génère un grand gain en tension grâce à une charge active.
- S3:** étage de sortie push-pull de grande impédance d'entrée et de faible impédance de sortie avec un gain en tension unitaire, mais un gain en courant $\beta \gg 1$ capable de fournir du courant à la charge R_L .
- S4:** polarisation avec un miroir de courant à sorties multiples. T4 monté en diode en est l'entrée, T3 et T5 en sont les sorties qui se comportent comme des sources de courant constant I_q . T3 polarise la P-D et T5 est la charge active de l'E-C.

Electronique II

Je voulais dire que ce transistor là, il sert à jouer le rôle d'une charge. Par contre, ce transistor là, il sert à jouer le rôle d'une source de courant pour polariser en DC un courant. Et les deux font partie d'un miroir de courant, où l'unique courant, pour générer et l'un et l'autre, vient depuis cette diode ou ce transistor connecté en diode et une source de tension stabilisée qu'on aurait mis pour alimenter notre "ampli" et une résistance de polarisation. Voilà, on a nos quatre structures: une transconductance, une deuxième transconductance, là je suis en train de dire le nom des fonctions qui ont été utilisés à l'étage de sortie et une polarisation et une charge active et les 2 sont issus d'un simple miroir de courant, et voilà, on a parcouru ce qu'on vient de voir dans la vidéo précédente concernant les fonctions, et on les voit maintenant sous forme de structure analogique, et leur lien avec la fonctionnalité dans un amplificateur.

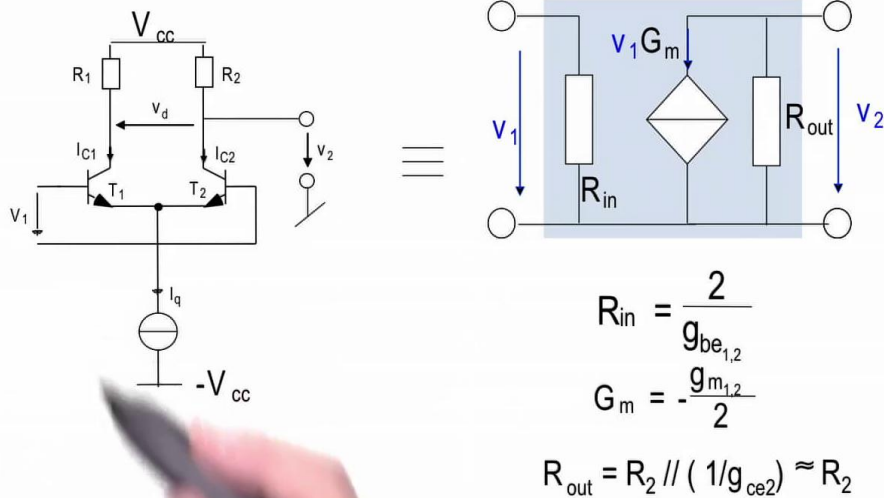
Notes

Summary



8m 11s

Analyse de l'étage d'entrée



Electronique II

Je vais prendre étage par étage, et je vais analyser ce que j'obtiens avec la modélisation, que nous avons étudié dans le cours. Donc on a étudié que, quand j'ai affaire à une paire différentielle, je prends ma paire différentielle je vais regarder l'équivalent AC. La source du courant, ici va disparaître. Le schéma équivalent d'une paire différentielle, je vous renvoie vers le cours sur la paire différentielle, et simplement, ceci possède une impédance d'entrée, une impédance de sortie, une source de courant commandée avec une transconductance. L'impédance d'entrée on l'avait calculé, elle vaut $2/G_{be}$, soit l'un soit l'autre, parce que c'est le même G_{be} , au repos, on a le courant I_q qui va passer en moitié ici, et en moitié là. Donc on va se trouver avec la moitié du courant dans l'un et dans l'autre, et la tension V_1 est distribuée entre une jonction et une 2ème jonction, et quand une jonction voit une tension élevée, l'autre voit une tension plus faible, ce qui me ramène tout de suite à comprendre que c'est comme un émetteur commun, à part que l'impédance elle se retrouve multiplié par un facteur 2: l'impédance d'entrée.

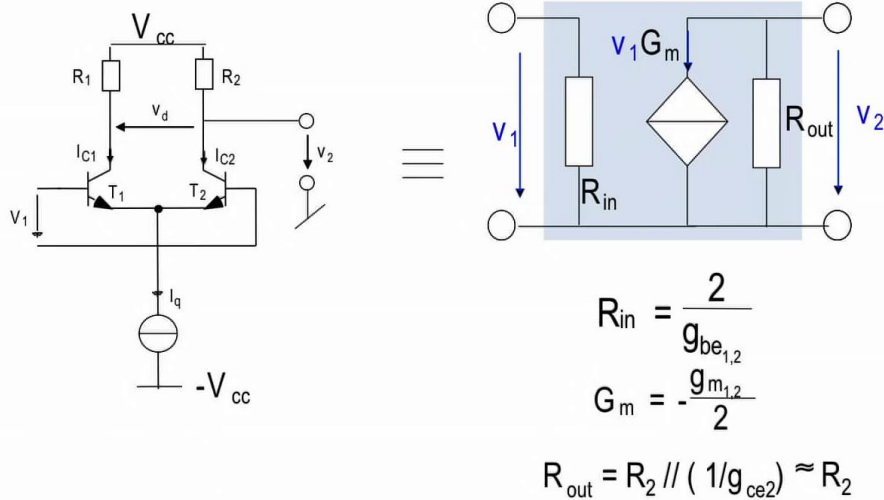
Notes

Summary



9m 13s

Analyse de l'étage d'entrée



Electronique II

La transconductance, c'est la moitié de chacune des transconductances, et l'impédance de sortie, alors là, il faut poser la question de cette impédance. Si ce noeud là correspond à une masse virtuelle, parce que si il y a un mode commun à l'entrée, il y a une chute de tension DC ici, qui impose un potentiel fixe c'est là où l'on voit que j'ai 1 sur G_{ce} de ce transistor ici, parce que je sors sur ce nœud là qui viendrait en parallèle avec l'alimentation, ce qui me ramène à la résistance R_2 et en parallèle avec $1/G_{ce2}$. Et souvent le $1/G_{ce}$ c'est assez élevé, comparé à la résistance de charge donc je peux approximer ça par R_2 . Donc j'ai pris simplement ma paire différentielle et ce que nous avons pris comme modèle, et j'ai remplacé les paramètres AC par les valeurs que nous avons trouvées. Voilà je possède maintenant un résumé de ce qu'est ma paire différentielle que je mets de côté. Je vais continuer avec l'étage suivant. C'est très important cette façon de faire. Donc je ne vais pas regarder l'ensemble de mon amplificateur opérationnel, je le divise en chaque structure analogique. La structure, je connais ses caractéristiques. Je sais qu'elle est sa fonction, c'est grâce à ça que je l'ai synthétisé et les valeurs qui sont là dedans vont dépendre de mes courants de polarisation que j'ai choisis qui sont là-dedans.

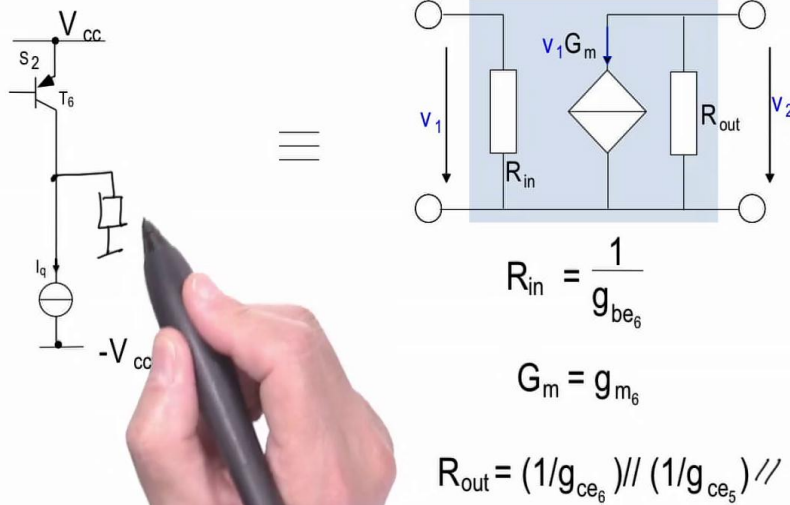
Notes

Summary



10m 34s

Gain en tension: Emetteur commun



Electronique II

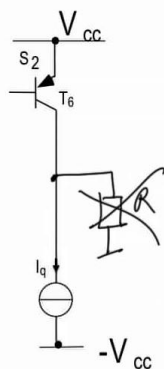
Voici le deuxième étage. Le deuxième étage, c'est une transconductance de nouveau. La structure 2, c'est un émetteur commun avec une charge active, le modèle de ce transistor, je le connais, l'impédance d'entrée, c'est celle que je vois de là, $1/g_{be}$ de ce transistor. La transconductance c'est G_m , le gain c'est $G_m \times R_{out}$, et le R_{out} , là, vous vous souvenez, à la place de cette source de courant, on avait un transistor, donc c'est pour ça que c'est $1/g_{ce6}$, parallèle avec $1/g_{ce5}$, parce que ce transistor, c'était le transistor 5. Donc j'écris les trois paramètres et j'ai tout ce qu'il faut, le gain c'est $G_m \times R$ de ce montage. Et comme ça c'est assez élevé, ça va m'amener un gain très élevé. Pour le moment, je n'ai pas branché ce qui viendrait après. Si par hasard, je me contente de prendre la paire différentielle qu'on vient de voir avant, et cet étage là, j'ai déjà les deux étages de gain. Le produit de deux étages de gain me donne l'étage de gain, à condition que je ne vienne pas ici casser ce gain là. Si par hasard, nous branchons ici une résistance quelconque qui est faible, regardez, elle viendrait en parallèle ici. J'appelle ça R , et il viendrait ici.

Notes

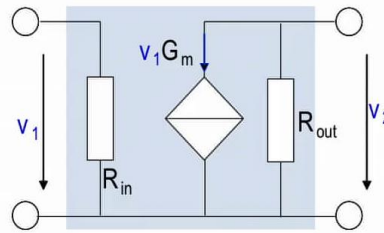
Summary



Gain en tension: Emetteur commun



≡



$$R_{in} = \frac{1}{g_{be_6}}$$

$$G_m = g_{m_6}$$

$$R_{out} = (1/g_{ce_6}) // (1/g_{ce_5}) // R$$

$$A_v = -g_{m_6} \cdot R_{out}$$

Electronique II

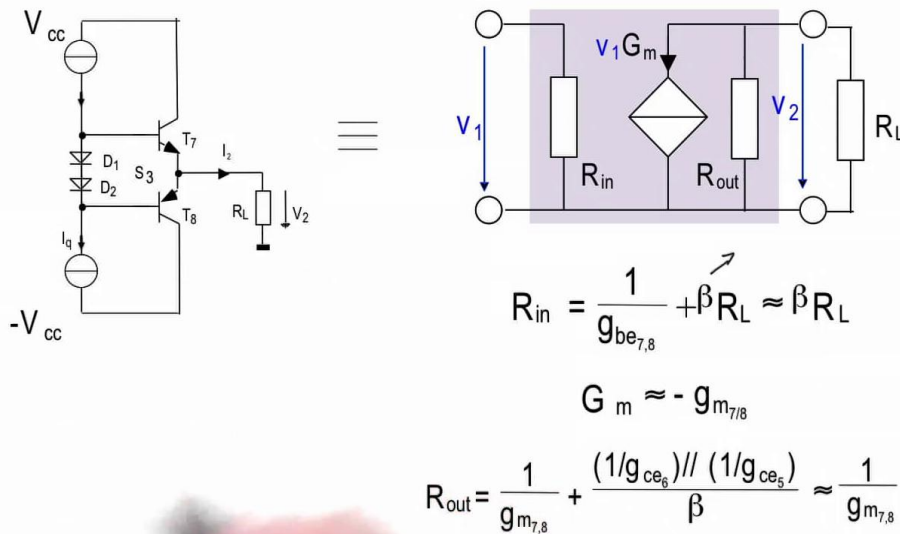
Donc si cette résistance est faible, ça y est, vous avez cassé toute la résistance R_{out} de ce montage et si vous le cassez, c'est grâce à ce montage là qu'on réalise l'essentiel du gain élevé. Donc si on prend cette résistance faible vous allez vous retrouver avec R_{out} égal à ça, donc le gain de cet étage c'est: $-G_{m6}$ multiplié par la résistance R_{out} de cet étage là. Et ça y est, si R_{out} est faible, je dégrade le gain, et ce que je cherchais à faire, à savoir obtenir un gain très élevé, et bien je ne l'obtiens pas, parce que je l'ai dégradé à cause de ça. Donc c'est quelque chose que je ne pourrais pas faire, et je devrais aller brancher un étage ici, celui qui vient là, cet étage qui viendrait là, devrait à tout prix posséder une résistance ici extrêmement élevée parce qu'elle va venir en parallèle avec ça, et je ne voudrais pas dégrader cette valeur que j'ai obtenu ici.

Notes

Summary



Etage de sortie



Electronique II

C'est pour ça que j'ai opté de prendre un étage de sortie. D'où la nécessité de cet étage de sortie quand je le branche de ce côté là. Et bien, ce que je vois de ce côté là, c'est l'impédance d'entrée d'un montage push/pull qui est comme le collecteur commun, et son impédance que je vois ici: c'est $1/G_{be} + \beta \times R_L$, donc ça dépend de R_L , ça dépend aussi de β . Par exemple, pour laquelle on met des Darlington là, à la place de ces deux, on met des Darlington pour pouvoir augmenter fortement le β , parce que quand on augmente le β , regardez R_{in} , il est plus dominé par ce facteur là, ce $\beta \times R_L$. Donc souvent, dans nos conceptions nous mettons des β s très élevés. Le R_L , ça dépend de l'utilisateur. C'est la résistance que vous allez brancher vous même quand vous utilisez votre "ampli", s'il s'agit d'un amplificateur audio et que vous mettez ici une résistance faible de quelques ohms, sachez que cet étage là, si il n'a pas un β très élevé, il risque de diminuer le gain. Et généralement grâce à la contre-réaction, on améliore tout ceci grâce au gain en boucle ouverte de l'ensemble.

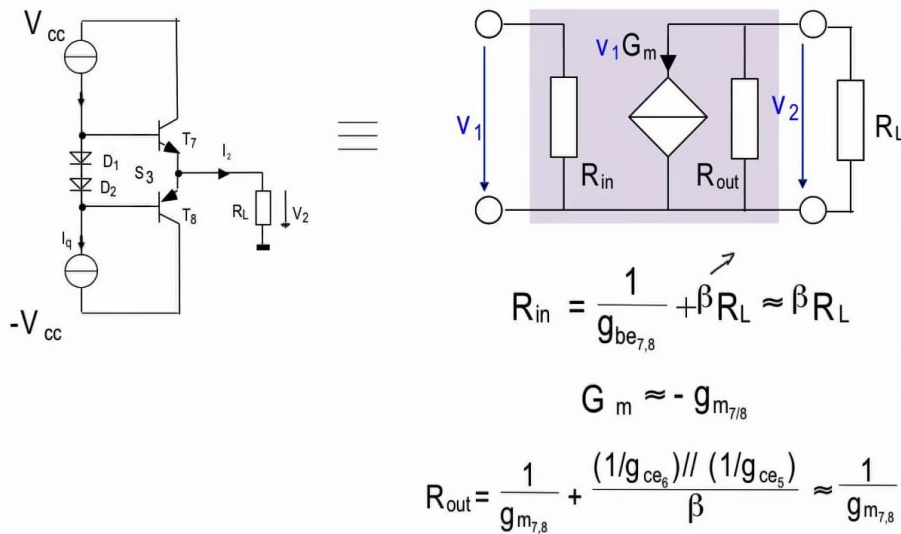
Notes

Summary



14m 27s

Etage de sortie



Electronique II

Ceci dit, ça c'est le schéma global, ou plutôt le modèle de mon montage tel qu'on l'a étudié, Nous connaissons les impédances d'entrée et de sortie, et nous savons que la résistance de sortie est de l'ordre de $1/G_m$ étant donné que le gain va être le G_m divisé par le $1/G_m$. Regardez, ça sur ça est égal à 1, donc nous tombons sur un schéma qui va nous donner un suiveur en tension, où un gain égal à 1. Voilà maintenant j'ai mes trois étages et je vais les mettre l'un derrière l'autre.

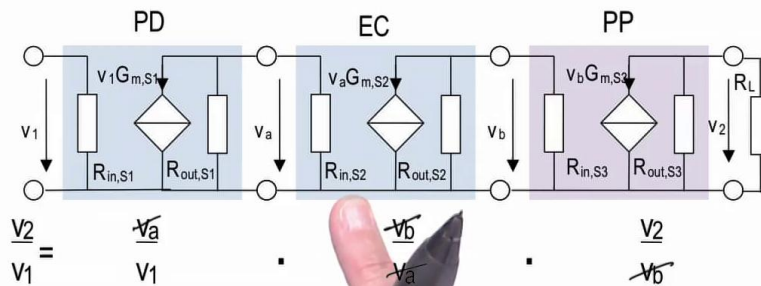
Notes

Summary



15m 38s

Gain total



$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{V_a}{V_1} \cdot \frac{V_b}{V_a} \cdot \frac{V_2}{V_b}$$

$$\frac{V_a}{V_1} = -G_{m,S1} \cdot R_{out,S1} \parallel R_{in,S2} = -\frac{g_{m1,2}}{2} \cdot R_2 \parallel \frac{1}{g_{be_6}}$$

$$\frac{V_b}{V_a} = -G_{m,S2} \cdot R_{out,S2} \parallel R_{in,S3} = -g_{m_6} \cdot (1/g_{ce_6}) \parallel (1/g_{ce_5}) \parallel \beta R_L$$

$$\frac{V_2}{V_b} = -G_{m,S3} \cdot R_{out,S3} \parallel R_L \approx 1$$

Electronique II

La perte différentielle, l'émetteur commun, et le pushpull. Il y a le premier, indépendant des autres, il est là. Le deuxième aussi, et le troisième aussi. Mais vous le savez que, quand vous mettez des étages comme ça, vous êtes obligés de calculer le fonction de l'ensemble du gain. C'est V_2 divisé par V_1 . Ça, c'est la sortie de l'ensemble, ça c'est l'entrée de l'ensemble. Et donc si je dois prendre V_2/V_1 , je suis obligé de faire: $V_a/V_1 \times V_b/V_a \times V_2/V_b$. Chacun a une fonction de transfert, et regardez, on simplifie ça et ça, ça et ça, ce qui nous donne V_2/V_1 qu'on trouve ici. Donc les trois étages, se résument après, à prendre le gain de chacun et le multiplier par l'autre. Mais attention, si je cache cette partie là, je fais V_a/V_1 , maintenant quand je branche cet étage derrière, regardez cette résistance: la résistance d'entrée de mon émetteur commun vient en parallèle avec la résistance de sortie de ma paire différentielle. Donc la mise en parallèle de ces deux, va avoir un effet sur le gain de ceci. Donc sans cet étage, vous voyez un gain $G_m \times$ cette résistance, maintenant on voit un gain $G_m \times$ cette résistance, parallèle avec celle-ci. Très, très important.

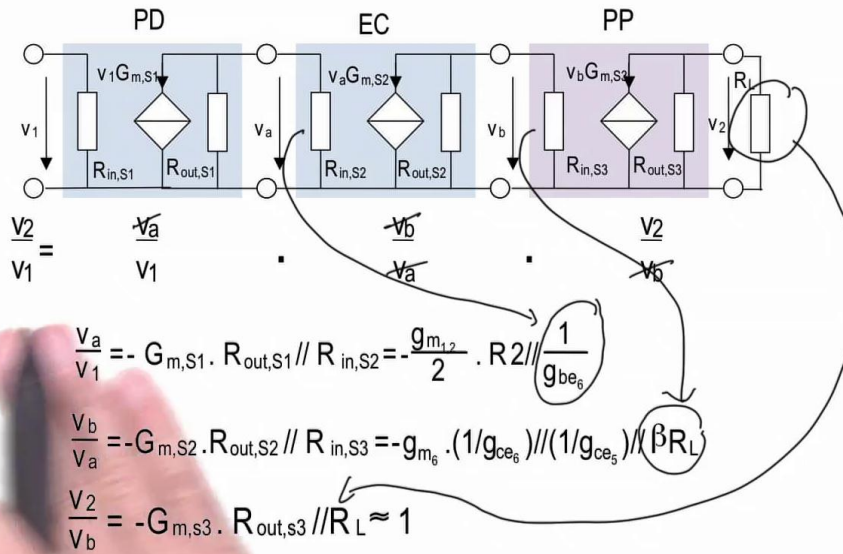
Notes

Summary



16m 16s

Gain total



Electronique II

Donc on peut tout casser en branchant faux, donc dégrader les caractéristiques, là ce n'est pas important parce que nous avons compté sur le gain qui serait fait dans l'émetteur commun, donc c'est en faisant ça qu'on peut casser le gain. Vous vous rappelez que je voulais faire le gain grâce à ces deux étages, et j'avais dit, que le gain est essentiellement fait par cet étage là, donc il ne faut pas que je dégrade le gain, à cause d'une impédance d'entrée relativement faible. Là je reprends mes expressions et je tiens compte de ce qui vient de s'ajouter. Donc ça, c'est dû à ça. Donc c'est venu en parallèle par rapport à ce que je vais noter avant de le brancher. Pareil ici. Cette résistance là elle est venue en parallèle ici, donc le bêta X R_L vient ici. Et là, la résistance R_L , c'est celle que l'utilisateur va brancher en boucle ouverte, et elle vient se mettre ici. Donc quand j'écris ça, c'est justement pour tenir compte des impédances d'entrée et de sortie, et qui viennent en parallèle quand je les mets l'un derrière l'autre, et là je suis en train de décrire mes gains V_a/V_1 , V_b/V_a , V_2/V_b et je n'ai qu'à multiplier ça X ça X ça, et trouver le gain total de ce montage.

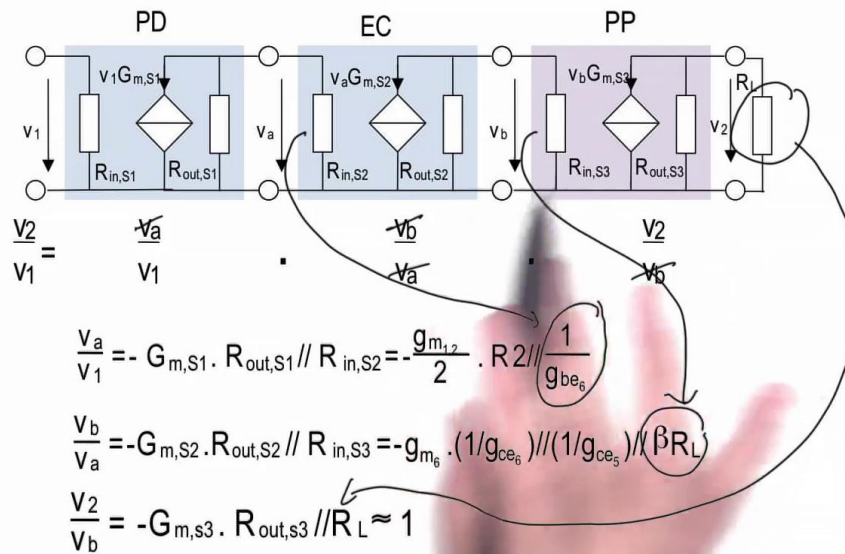
Notes

Summary



17m 47s

Gain total



Electronique II

Donc ça, ça sera un exercice que je vais vous donner tout de suite après cette vidéo, vous pouvez continuer à le résoudre, il y a des valeurs numériques et vous verrez que vous pouvez réaliser des gains assez élevés avec ce genre de montage, et faire un montage qui donne un amplificateur opérationnel, réalisé par trois étages. Faites très attention, au fait qu'il manque quelque chose dans cette explication. Vous le verrez dans d'autres leçons, c'est pour pouvoir le rendre stable, c'est-à-dire quand on fait de la contre-réaction, il faut que nous respectons quand même le retard crée par le montage, pour qu'on continue à avoir suffisamment de marge de phase pour que le montage reste stable, c'est que nous devons compenser ce montage par l'ajout, la jonction d'une capacité, une capacité Miller ou d'autres techniques de compensation, pour ajuster ça, ce que je n'ai pas fait dans cet exercice, donc il reste un exercice orienté. Fonction, Structure analogique et Calcul de gains, pour pouvoir être implémentés, il faudra ajouter l'étude de stabilité de ce genre de montage.

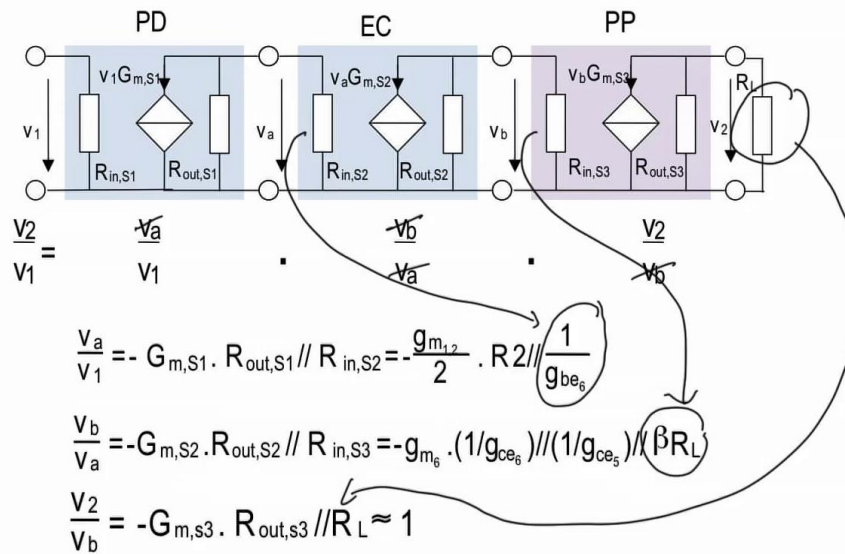
Notes

Summary



19m 10s

Gain total



Electronique II

J'aimerais terminer maintenant cette partie, je crois que je viens de traiter l'essentiel de ce qu'on doit connaître sur le transistor, le dernier exemple qu'on vient de voir nous montre la puissance des méthodes que nous avons étudié, un exercice un peu plus complet qui pourrait être très, très utile pour quelqu'un qui voudrait vraiment utiliser toutes les structures qu'on a appris à calculer, et toutes les méthodologies qui ont été ajoutées, peut-être prendre un amplificateur opérationnel plus détaillé, ou un amplificateur audio un peu plus complexe et le réaliser deviendrait un excellent exercice à faire dans le cadre de la suite de ce cours.

Notes

Summary



20m 16s