

- Transistor est en fonctionnement normal.
- Applications analogiques.
- Régime petits signaux ou accroissements autour d'un point de fonctionnement (polarisation)

Electronique II

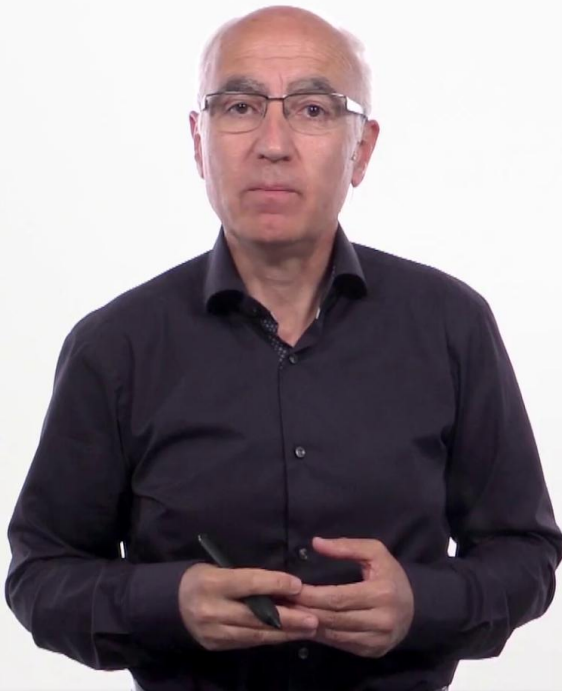
Bonjour à vous tous. Aujourd'hui, nous allons aborder les modèles petits signaux. Les modèles petits signaux, c'est vraiment l'essentiel de l'utilisation du transistor dans les circuits analogiques. Comme vous le savez, le monde qui nous entoure est plus de nature analogique que numérique. Et on voudrait faire des fonctions linéaires. Mais le transistor dans son fonctionnement normal, il doit nous permettre d'aller l'utiliser dans des fonctionnalités surtout analogiques. Donc, nous allons passer un certain temps à le modéliser pour qu'il soit assez linéaire entre la tension d'entrée et le courant de sortie ce qui nous intéresse. Donc comprendre cette capacité de transistor de jouer son rôle de transconductance. Pour étudier les différents principes, comment est-ce qu'on amène le transistor à être utilisé comme composant analogique linéaire, nous allons l'étudier d'abord en regardant la fonctionnalité unique qui nous le permet, à savoir le mode normal. Donc un transistor qui est utilisé comme composant dans sa zone linéaire, il ne devrait surtout pas être ni saturé ni bloqué. Et si vous retenez ceci, vous êtes parti pour comprendre que tout le long de cette partie votre transistor est en mode normal.

Notes

Summary



0m 04s



- Transistor est en fonctionnement normal.
- Applications analogiques.
- Régime petits signaux ou accroissements autour d'un point de fonctionnement (polarisation)

Electronique II

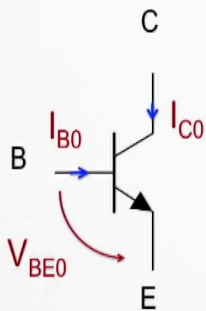
Et vous allez toujours vérifier s'il ne va jamais ni saturer ni bloquer quand on lui impose une tension qui peut le pousser vers la saturation ou vers le blocage. Donc, on avait bien expliqué que saturation au blocage est due à votre circuit et surtout pas au transistor lui-même. Si votre circuit bloque le transistor par une tension d'alimentation ou empêche le courant de circuler dedans pour une certaine dynamique, eh bien sachez que votre transistor n'est plus en mode normal. Donc le transistor devrait être en mode normal, un. Il serait surtout utilisé pour des circuits analogiques. Et nous allons introduire la notion des accroissements. Accroissements, ça veut dire des toutes petites variations. Et on appelle ceux-ci, les petits signaux. Ce qui a donné le nom à ce modèle que nous allons étudier qui s'appelle le modèle petit signaux du transistor ou modèle pour accroissement.

Notes

Summary



1m 24s

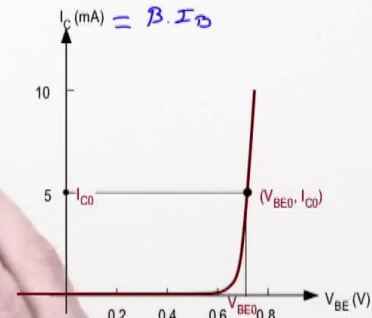


$$I_{C0} = I_S e^{\frac{V_{BE0}}{U_T}}$$

$$I_{B0} = \frac{I_{C0}}{\beta} = \frac{I_S e^{\frac{V_{BE0}}{U_T}}}{\beta}$$

• Modèle linéaire petits signaux (AC):

- Le transistor est en conduction
- Linéarisation autour d'un point de fonctionnement DC



Electronique II

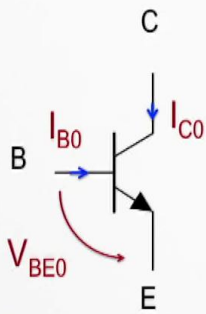
J'aimerais reprendre le transistor vu avec le symbole et vous rappeler très rapidement qu'il est non linéaire. Regardez le courant commandé par la tension, il nous donne une loi exponentielle donc ce n'est pas linéaire. Si vous regardez ici, vous allez voir que pareil pour le courant de base qui passe dans le transistor étant donné que la relation est linéaire avec I_{C0} , première approximation, on a qu'à le diviser par le β du transistor et on trouve le courant I_{B0} . Donc I_{C0} et I_{B0} nous donnent 2 lois qui sont exponentielles pas linéaires. Et on va voir cette loi qui est ici. Là on a dessiné I_C . Je peux très bien écrire $I_C = \beta \cdot I_B$. Et là, cela nous permet de voir que le I_B , ce n'est rien d'autre que cette courbe exponentielle aussi divisée par le β . Donc le transistor quand il sera utilisé, il devrait être en conduction. Donc, on a dit que là, il est bloqué. Là, il va conduire et la saturation, c'est dû à quelque chose lié à votre circuit. Donc, ce qui est sûr et certain, c'est que vous devez imposer dans votre transistor, un courant qu'on appelle le courant de polarisation. Pourquoi on va le faire ? C'est que nous souhaitons linéariser la fonction de transistor qui est non linéaires.

Notes

Summary



2m 17s

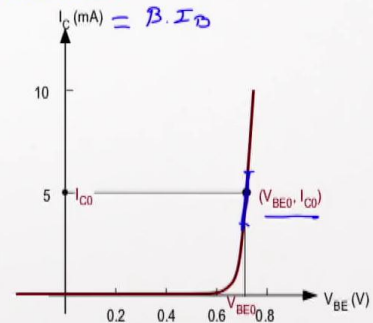


$$I_{C0} = I_S e^{\frac{V_{BE0}}{U_T}}$$

$$I_{B0} = \frac{I_{C0}}{\beta} = \frac{I_S e^{\frac{V_{BE0}}{U_T}}}{\beta}$$

• Modèle linéaire petits signaux (AC):

- Le transistor est en conduction
- Linéarisation autour d'un point de fonctionnement DC



Electronique II

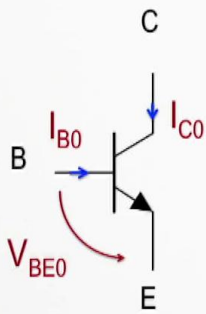
Regardez-la bien. C'est une fonction non linéaire. C'est tout ça. Mais nous allons nous intéresser à un point de fonctionnement et on l'appelle point de fonctionnement. On va aller se mettre en ce point-là. On impose un courant continu dans le transistor qui va engendrer une tension V_{BE0} donnée. Et une fois, qu'il y a ce courant qui passe dans le transistor et que cette tension V_{BE0} , nous allons nous intéresser à une toute petite portion de cette loi exponentielle pour dire: et si jamais, nous limitons la dynamique du signal qu'on nous impose entre base et émetteur, cette variation autour de quelques mV, vraiment très, très peu de dynamique entre la jonction base-émetteur, celle qui commande le courant, c'est sûr et certain que cette variation, cette plage-là elle va engendrer un courant quasi linéaire par rapport à ça. Et si on dit quasi-linéaire, c'est comme si ça avait été une petite droite qui était complètement confondue avec la caractéristique elle-même de transistor. Et nous appelons ça, la tangente en un point de fonctionnement. Quelqu'un qui a compris l'opération, il a saisi que un, on a besoin d'imposer ça. Cela, c'est la première chose.

Notes

Summary



3m 37s

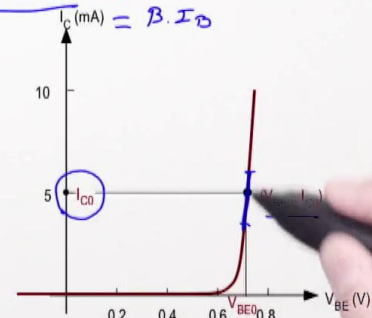


$$I_{C0} = I_S e^{\frac{V_{BE0}}{U_T}}$$

$$I_{B0} = \frac{I_{C0}}{\beta} = \frac{I_S e^{\frac{V_{BE0}}{U_T}}}{\beta}$$

• Modèle linéaire petits signaux (AC):

- Le transistor est en conduction
- Linéarisation autour d'un point de fonctionnement DC



Electronique II

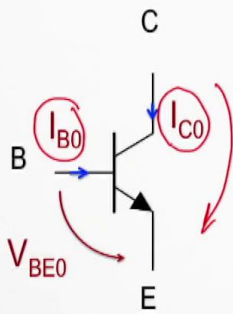
Donc, nous ne pouvons pas utiliser un transistor dans un mode AC sans lui imposer un composant DC. Donc, on va tout le temps superposer le AC et le DC pour pouvoir utiliser le transistor. Il faut l'amener vers un point de fonctionnement choisi par vous parce que c'est vous qui allez choisir le paramètre le plus important et vous allez voir que c'est vraiment le plus important, c'est ce courant de polarisation. Personne ne regarde ce que c'est V_{be0} . Cela donnerait quelque chose que si vous le remplacez, le I_{C0} et vous cherchez le I_{B0} correspondant à condition que vous connaissez le I_S qui je vous rappelle que la tension thermodynamique, c'est de 26 mV. Vous avez une tension V_{be0} , mais personne ne va regarder ce que c'est parce que nous allons polariser en courant. Une fois qu'on a fait ça, on va dire quelle est la pente de la tangente ici. Et puis, on va passer vers une composante variable autour de V_{be0} qui va se superposer autour de cette valeur que nous ne connaissons pas, le V_{be0} . Et nous allons voir qu'une variation va être vue, qui va autour de I_{C0} , celle qu'on avait imposée dans le transistor, faire varier le courant ici.

Notes

Summary



4m 50s

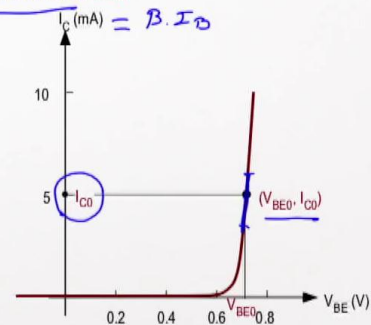


$$I_{C0} = I_S e^{\frac{V_{BE0}}{U_T}}$$

$$I_{B0} = \frac{I_{C0}}{\beta} = \frac{I_S e^{\frac{V_{BE0}}{U_T}}}{\beta}$$

• Modèle linéaire petits signaux (AC):

- Le transistor est en conduction
- Linéarisation autour d'un point de fonctionnement DC



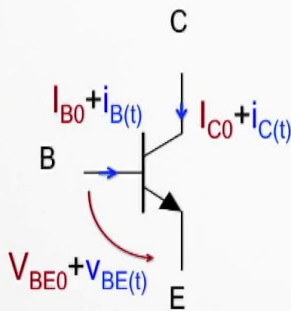
Electronique II

Et ça y est, nous avons une ligne arrêtée entre la variation de la tension d'entrée versus la variation du courant de sortie. Et c'est ça la fameuse transconductance du transistor que nous cherchons à définir et à modéliser. Donc je répète, nous n'allons plus regarder le transistor en tant que tel parce qu'il va contenir deux choses. Il va un, contenir ce qui est en rouge, à savoir tout ce qui est courant continu, tension continue. Donc cette tension-là qui va être continue. Donc, il va y avoir tout un ensemble de composantes continues. Mais ça c'est indépendant de l'utilisation de transistors parce qu'après on passe sur un modèle donc ce n'est pas la réalité c'est un modèle on va confondre sur une loi non linéaire qui va sortir de cette loi analytique ici, une transconductance qui elle est linéaire parce qu'elle va lier une variation de la tension d'entrée vers la variation de la tension, le courant de sortie. Voilà, c'est ce qu'on va faire.

Notes

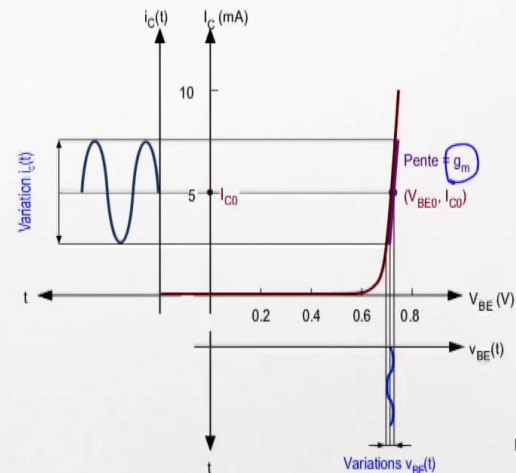
Summary





• Modèle linéaire petits signaux (AC):

- Le transistor est en conduction
- Linéarisation autour d'un point de fonctionnement DC



Electronique II

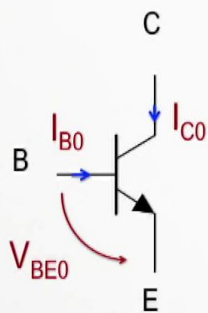
Continuons le raisonnement autour de cette base, qu'on est partis avec la composante continue à laquelle on va ajouter une composante variable. Et voici la composante variable. On l'a dit le ΔV_{be} . Remarquez je l'ai écrit en minuscule ce qui est en rouge je l'ai écrit en majuscules et c'est constant et ce qui est variable en fonction du temps, et là j'ai dessiné une tension sinusoïdale dont l'amplitude est de quelques mV, très faible d'où le nom accroissement. Et cette variation-là va commander sur cette courbe-là, sur la loi exponentielle, le courant qui va traverser votre transistor. Et ça y est, si vous admettez que le G_m de transistor, c'est un composant qui va relier la variation de la tension à une variation du courant, ça y est vous êtes en train de donner un modèle linéaire parce que vous avez confondu un bout de droite sur une partie de l'exponentielle et vous avez trouvé une loi qui va convertir U en I et on l'appelle la transconductance, la fameuse loi du transistor.

Notes

Summary



7m 03s

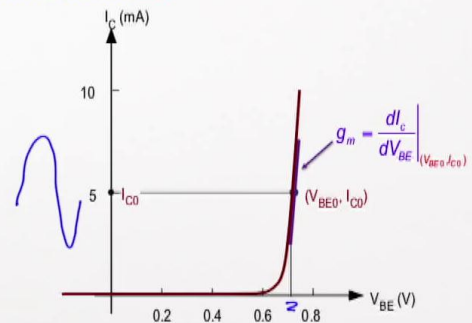


$$I_C = I_S e^{\frac{V_{BE}}{U_T}} \rightarrow g_m = \left. \frac{dI_C}{dV_{BE}} \right|_{(V_{BE0}, I_{C0})} = \frac{I_{C0}}{U_T}$$

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{I_S e^{\frac{V_{BE}}{U_T}}}{\beta} \rightarrow g_{be} = \left. \frac{dI_B}{dV_{BE}} \right|_{(V_{BE0}, I_{B0})} = \frac{I_{C0}}{\beta U_T} = \frac{I_{B0}}{U_T} = \frac{g_m}{\beta}$$

• Modèle linéaire petits signaux (AC):

- Le transistor est en conduction
- Linéarisation autour d'un point de fonctionnement DC



Electronique II

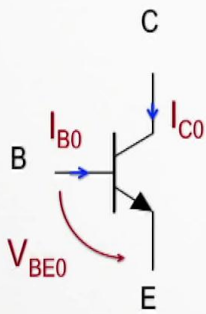
Et voici maintenant ce que j'aimerais bien extraire sur le Gm. Donc si le Gm est une droite sur un point d'une expression analytique c'est bien sûr la dérivée en ce point. Ça tout le monde sait que la tangente en un point sur une loi analytique correspond à la dérivée dans laquelle on a mis un point qui est ce fameux point de fonctionnement le Vbe0 Ic0. Donc on va l'appliquer. Donc le transistor lui-même possède cette relation. Et si je veux dériver cette relation, donc pour extraire la pente de la tangente en un point, je dérive ce courant sur cette tension-là et je remplace dans la dérivée le point dans lequel je suis en train de regarder cette courbe et en l'occurrence il s'agit de courant Ic0 et Vbe0. Et j'obtiens cette relation qui me donne la pente de la tangente qui me permettrait dorénavant de convertir toute variation ici en une variation qui va apparaître ici en courant avec un ΔI qui est égal à $\Delta V \cdot G_m$, avec un Gm qui est égal à I_{C0}/U_T . Ça mérite quand même qu'on regarde ça. Quand j'avais insisté tout à l'heure pour vous dire que le courant de polarisation Ic0 est très important, le voilà. Donc ça c'est votre choix, c'est vous qui allez imposer un courant de polarisation avec une quantité donnée.

Notes

Summary



8m 15s

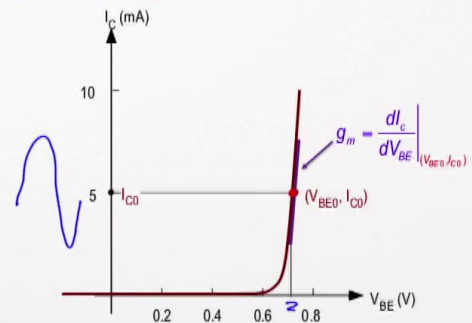


$$I_C = I_S e^{\frac{V_{BE}}{U_T}} \rightarrow g_m = \left. \frac{dI_C}{dV_{BE}} \right|_{(V_{BE0}, I_{C0})} = \frac{I_{C0}}{U_T}$$

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{I_S e^{\frac{V_{BE}}{U_T}}}{\beta} \rightarrow g_{be} = \left. \frac{dI_B}{dV_{BE}} \right|_{(V_{BE0}, I_{B0})} = \frac{I_{C0}}{\beta U_T} = \frac{I_{B0}}{U_T} = \frac{g_m}{\beta}$$

• Modèle linéaire petits signaux (AC):

- Le transistor est en conduction
- Linéarisation autour d'un point de fonctionnement DC



Electronique II

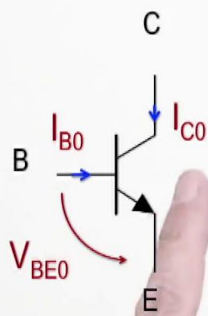
Nous allons apprendre plus tard comment définir ce courant I_{C0} . Donc dès que vous avez fixé ce courant I_{C0} par votre schéma de polarisation, celle qui va vous permettre de déterminer sur quel point de votre courbe vous allez vous placer, ça y est votre G_m va avoir une valeur, il est proportionnel directement à ce I_{C0} . N'oubliez pas que le U_T , c'est connu, c'est une valeur qui est égale à 26mV à température ambiante. Donc dès que vous fixez I_{C0} c'est comme si vous avez fixé I_{B0} . I_{B0} c'est le fameux I_{C0}/β donc vous allez trouver un $I_{B0} = I_{C0}/\beta$. Donc pareil, si vous regardez ce transistor et que vous regardez ce qui se passe entre base et émetteur, vous allez dire: si I_{C0} nous a donné le G_m qu'est-ce qui va se passer sur quelque chose qu'on viendrait plus tard brancher ici ? J'ai deux doigts qui se placent sur une terminaison, c'est comme si je regarde une résistance au bord de laquelle j'ai une tension V_{be} et un courant I_b , bien sûr je parle des valeurs qui varient dans le temps, c'est comme si c'est une résistance et qu'on va l'appeler $1/G_{be}$ dont la conductance G_{be} c'est de nouveau la dérivée dI_b/dV_{be} . Donc cette loi que vous voyez là en un point de fonctionnement qui est I_{B0} V_{be0} et I_{B0} est proportionnel à I_C/β , et vous allez retrouver ça.

Notes

Summary

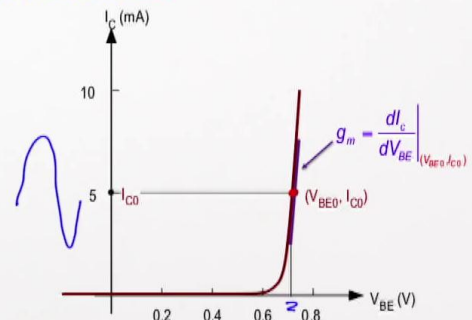


9m 48s



• Modèle linéaire petits signaux (AC):

- Le transistor est en conduction
- Linéarisation autour d'un point de fonctionnement DC



Electronique II

$$I_C = I_S e^{\frac{V_{BE}}{U_T}} \rightarrow g_m = \left. \frac{dI_C}{dV_{BE}} \right|_{(V_{BE0}, I_{C0})} = \frac{I_{C0}}{U_T}$$

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{I_S e^{\frac{V_{BE}}{U_T}}}{\beta} \rightarrow g_{be} = \left. \frac{dI_B}{dV_{BE}} \right|_{(V_{BE0}, I_{B0})} = \frac{I_{C0}}{\beta U_T} = \frac{I_{B0}}{U_T} = \frac{g_m}{\beta}$$

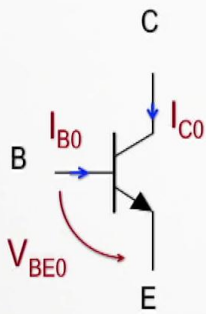
Et de nouveau vous reconnaissez ici le fameux I_{C0} . Qui dit I_{C0} pour un transistor en en bêta données dit I_{B0} est aussi connu. Donc nous nous trouvons avec entre base et émetteur une sorte de résistance qui va tirer un certain courant quand il y a une variation de tension et que cette résistance-là, linéarisée, nous donnerait quelque chose proportionnel à ce fameux G_m qu'on vient de calculer. Donc les séquences d'analyse nous amènent chaque fois à imposer un courant de polarisation, ce qui nous donne tout de suite une valeur d'une transconductance. Donc dès que vous avez imposé le I_{C0} vous savez que vous allez atteindre un G_m . Et une fois que vous avez imposé ce I_{C0} vous allez tout de suite trouver votre G_{be} et ce G_{be} là est proportionnel à ceci, c'est le même I_{C0} , le β et dans le transistor, ça appartient à la valeur que vous obtenez avec votre transistor et le U_T est donné. Et ça y est, le transistor maintenant est devenu linéaire. Pour tout ce qui est AC, il se comporte entre ces deux points et ce point comme étant une transconductance qui lie la variation et la convertit en courant. Et donc à ce I_{C0} , quand il voit un ΔV_{be} , donc quand il voit un V_{be} minuscule de T , il va ajouter ici $I_{C0} + (I_C \text{ de } t)$.

Notes

Summary



11m 19s

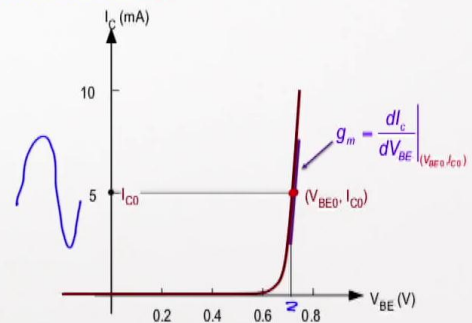


$$I_C = I_S e^{\frac{V_{BE}}{U_T}} \rightarrow g_m = \left. \frac{dI_C}{dV_{BE}} \right|_{(V_{BE0}, I_{C0})} = \frac{I_{C0}}{U_T}$$

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{I_S e^{\frac{V_{BE}}{U_T}}}{\beta} \rightarrow g_{be} = \left. \frac{dI_B}{dV_{BE}} \right|_{(V_{BE0}, I_{B0})} = \frac{I_{C0}}{\beta U_T} = \frac{I_{B0}}{U_T} = \frac{g_m}{\beta}$$

• Modèle linéaire petits signaux (AC):

- Le transistor est en conduction
- Linéarisation autour d'un point de fonctionnement DC



Electronique II

Et pareil, quand il voit qu'une variation de V_{be} ici, il va tirer un courant dans la base qui est proportionnel à ce courant ΔI_B et qui est lié à ça. Donc tout est dans le I_{C0} . Une fois qu'on a fixé I_{C0} , on a finalement remplacé le transistor par une résistance de là à là, une source de courant de là à là et ceci est obtenu par le G_m , et ceci va être comme une résistance qui tire un courant. Et ça y est on vient de voir notre transistor avec le modèle qu'on appelle le modèle linéaire petits signaux et il est bel et bien linéaire, vous n'avez qu'à le voir avec cette linéarisation qui est bêtement obtenue par dérivé. Maintenant je veux insister sur ça. Qu'est-ce qu'on a fait pour linéariser? On a dérivé. On a regardé une variation du courant divisée par une variation de tension. Donc autrement dit si vous n'avez pas de variation de tension quelque part, si vous avez un composant quelque part qui n'a pas de variation de tension, ceci nous donne une valeur 0. Donc c'est ce qu'il va nous permettre d'utiliser ce modèle dans un contexte dans lequel il y a un circuit et dans lequel il y a des sources de tension fixe.

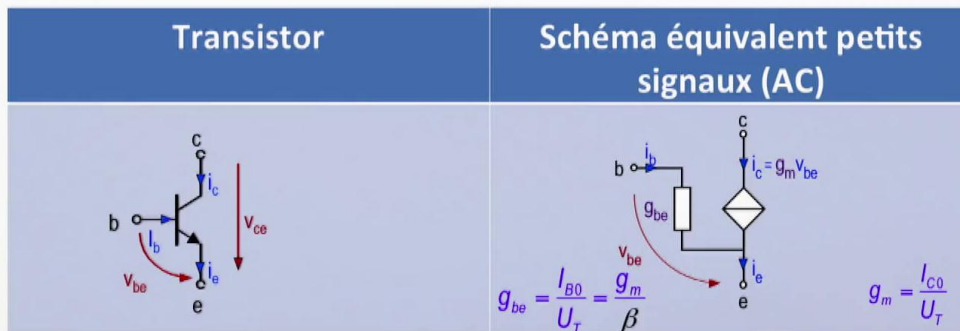
Notes

Summary



Modèle petits signaux (AC)

I_{C0}



Electronique II

Le modèle de mon transistor est maintenant ceci. Si je vous demande de remplacer le transistor par son modèle AC, ça signifie quoi ? Ça signifie que vous avez polarisé votre transistor parce que vous l'avez mis dans un circuit dans lequel il est déjà polarisé. Donc vous connaissez déjà le fameux I_{C0} . Et comme on a dit, personne ne va regarder autre chose. On va demander d'imposer le I_{C0} qui va nous donner le I_{B0} parce qu'il y a le β du transistor. Et dès qu'on a obtenu le I_{B0} , ça y est, on a tout ça qu'on pourrait tout de suite dessiner. Je peux enlever mon transistor en tant que schéma, le remplacer par une vision modèle, c'est-à-dire quelque chose qui ressemble à ceci et je répète, je dois, pour pouvoir faire ça, vérifier que mon circuit ou mon transistor n'est ni saturé, ni bloqué. Extrêmement importante cette phrase, c'est-à-dire que vous devez plus tard vérifier que quand vous allez faire varier V_{be} et vous allez faire varier I_c , et ceci se trouve dans un contexte d'un circuit, vous devez vérifier que pour que linéarité existe et votre transistor se comporte comme ça, vous devez absolument être sûr que jamais votre transistor n'entre en saturation, jamais votre transistor ne va être bloqué.

Notes

Summary



14m 03s

Modèle petits signaux (AC)

Transistor	Schéma équivalent petits signaux (AC)
	$g_{be} = \frac{I_{B0}}{U_T} = \frac{g_m}{\beta}$ $g_m = \frac{I_{C0}}{U_T}$
	$g_{be} = \frac{I_{B0}}{U_T} = \frac{g_m}{\beta}$ $g_m = \frac{I_{C0}}{U_T}$

Electronique II

Nous aurons l'occasion d'en parler et ceci nous amène à parler de quelque chose qu'on appelle la dynamique qui est un des paramètres les plus importants aussi pour la conception d'un circuit. Quand j'ai imposé ce courant I_{C0} , je peux enlever mon transistor (Ot) et le remplacer par quelque chose comme ça. Donc on tombe sur une analyse de circuit linéaire. J'ai une résistance qui est égale à $1/G_{be}$. Je peux écrire ici G_{be} ou $1/G_{be}$, ça revient au même. C'est à moi de savoir si j'écris une conductance G_{be} , je dois tenir compte des rapports entre tension et courant et si je parle $1/G_{be}$ c'est $U=RI$ donc $U=(1/G_{be}).I_b$. Mais ce qui est important là c'est de regarder ces deux relations. On a le fameux G_m et le G_{be} qui seront tout de suite calculés dès que vous avez imposé votre courant I_{C0} . Il s'agit ici d'un exemple avec un transistor NPN, ça nous donnerait la même chose avec un transistor PNP, il n'y a absolument pas de différence, ça vous donnerait le même modèle et les mêmes valeurs pour les deux. Et là vous avez le schéma complet de deux transistors complémentaires où vous enlevez ceci et vous remplacez le modèle linéaire à la place quand il s'agit d'un circuit dans lequel on regarde surtout les variations, petits signaux ou accroissement.

Notes

Summary



15m 25s



Electronique II

Pareil pour Le PNP, vous le remplacez par ceci, les expressions sont exactement les mêmes, ça ne change rien. Étant donné ici qu'on a une variation le V_{be} et le V_{eb} restent la même chose donc ça nous donnerait la même chose. On n'a aucun problème de différence entre les deux transistors, on appliquerait les mêmes lois. On vient maintenant de voir ce qu'il faut faire avec un transistor quand il est utilisé dans un contexte circuit en le remplaçant par ce modèle. J'aimerais bien absolument répéter cette phrase. Je viens de dériver la variation du courant divisé par une variation de tension dans un circuit. Je vais garder cet état d'esprit et avec cet état d'esprit j'ai pu remplacer mon transistor par un modèle linéaire où le transistor est vu comme une résistance entre base et émetteur qui est égale à $1/g_{be}$. Il est vu comme une source de courant commandée entre collecteur et émetteur, à la sortie, et qui est commandée par la tension d'entrée V_{be} .

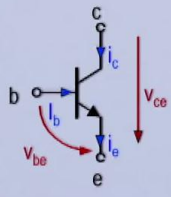
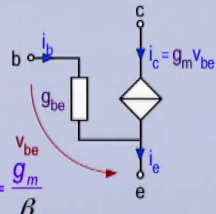
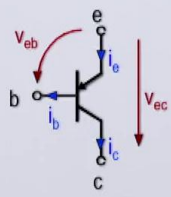
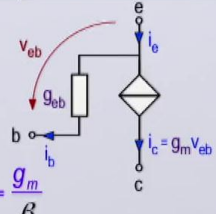
Notes

Summary

16m 49s



Modèle petits signaux (AC)

Transistor	Schéma équivalent petits signaux (AC)
	 $g_{be} = \frac{I_{B0}}{U_T} = \frac{g_m}{\beta}$ $g_m = \frac{I_{C0}}{U_T}$
	 $g_{be} = \frac{I_{B0}}{U_T} = \frac{g_m}{\beta}$ $g_m = \frac{I_{C0}}{U_T}$

Electronique II

Pour bien maîtriser ceci il faut voir ça dans un contexte d'un exemple avec un circuit complet parce que nous sommes, tout le temps, amenés à faire cohabiter le courant continu avec la tension variable dans un circuit parce que le transistor n'aurait jamais trouvé son modèle linéaire AC s'il n'avait pas été polarisé par un courant constant qui va engendrer des tensions constantes tout autour de ce transistor dans le circuit complet comme on va le voir. Alors on va passer tout à l'heure, dans la deuxième vidéo qui va suivre, sur un modèle ou plutôt sur un circuit qui nous montre comment on utilise ce modèle.

Notes

Summary



17m 53s