

II.7 Transistor en régime dynamique :

Introduction

L'étude d'un circuit amplificateur se subdivise en deux : étude statique déjà traité et étude dynamique. :

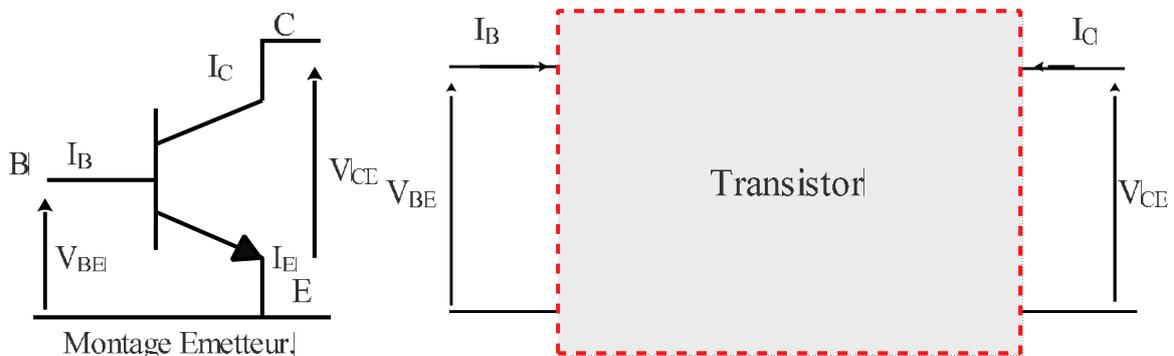
Etude statique consiste à la polarisation du transistor, droite de charge statique et calcul du point de fonctionnement.

Etude dynamique consiste au calcul du gain en tension, gain en courant, impédance d'entrée, impédance de sortie.

II.7.1 Schéma équivalent d'un transistor en alternatif :

Prenons comme exemple le montage émetteur commun tel qu'il est présenté sur la figure suivante.

Les grandeurs électriques (tension et courant) qui existent aux différentes bornes du transistor sont constituées de deux composantes : Une composante continue due au circuit de polarisation et une composante alternative due au signal utile.



Les différentes grandeurs électriques sont données par les expressions suivantes :

$$v_{BE} = v_{be} + V_{BE} \text{ Tension entre base et émetteur}$$

$$i_B = i_b + I_B \text{ Courant de base}$$

$$v_{CE} = v_{ce} + V_{CE} \text{ Tension entre collecteur et émetteur}$$

$$i_C = i_c + I_C \text{ Courant de collecteur}$$

Avec V_{BE}, I_B, V_{CE}, I_C : composantes continues, et v_{be}, i_b, v_{ce}, i_c : composantes alternatives

Les résultants de la somme des grandeurs continues et alternatives sont liés entre eux :

$$v_{BE} = f(i_B, v_{CE}) \dots \dots \dots (1)$$

$$i_C = g(i_B, v_{CE}) \dots \dots \dots (2)$$

En fait la différence de ces deux expressions nous obtenons :

$$\Delta v_{BE} = \frac{\partial f}{\partial i_B} \Delta i_B + \frac{\partial f}{\partial v_{CE}} \Delta v_{CE} \dots \dots \dots (3)$$

$$\Delta i_C = \frac{\partial g}{\partial i_B} \Delta i_B + \frac{\partial g}{\partial v_{CE}} \Delta v_{CE} \dots \dots \dots (4)$$

Sachant que : $\Delta v_{BE} = v_{be}$ et $\Delta i_B = i_b$

$$\Delta v_{CE} = v_{ce} \text{ et } \Delta i_C = i_c .$$

Ces deux équations sont semblables à la représentation par la matrice hybride dans les quadripôles telle que :

$$v_{be} = h_{11}i_b + h_{12}v_{ce} \dots \dots \dots (5)$$

$$i_c = h_{21}i_b + h_{22}v_{ce} \dots \dots \dots (6)$$

Tel que

$h_{11} = \frac{\partial f}{\partial i_B} = \left. \frac{\Delta v_{BE}}{\Delta i_B} \right|_{v_{CE}=Cte}$ Est l'impédance d'entrée du transistor, Sa valeur dépend du transistor (β) et du point de fonctionnement statique: $h_{11} = \frac{26\beta}{I_E}$.

$h_{12} = \frac{\partial f}{\partial v_{ce}} = \left. \frac{\Delta v_{BE}}{\Delta v_{ce}} \right|_{i_B=Cte}$ est le gain du transistor (amplification en courant).

$h_{21} = \frac{\partial g}{\partial i_B} = \left. \frac{\Delta i_C}{\Delta i_B} \right|_{v_{CE}=Cte}$ Un terme de réaction interne, il donne la variation de V_{BE} en fonction de celle de V_{CE} . sa valeur est très faible, il sera le plus souvent négligé.

$h_{22} = \frac{\partial g}{\partial v_{ce}} = \left. \frac{\Delta i_C}{\Delta v_{ce}} \right|_{i_B=Cte}$ Est l'impédance de sortie du transistor, c'est la pente de la caractéristique de sortie à $I_B = Cte$,

Remarque

Si $i_B = Cte \Rightarrow \Delta i_B = 0$ la même chose pour la tension v_{CE} si $v_{CE} = Cte \Rightarrow \Delta v_{ce} = 0$

D'après les deux équations (5) et (6) nous pouvons déduire le schéma équivalent d'un Transistor pour les petits signaux en étudiant les caractéristiques d'entrée et de sortie.

Avant d'entamer les caractéristiques d'entrée et de sortie, il est utile de revoir les quadripôles. **Rappel sur les quadripôles : (voir le deuxième document)**

a) Caractéristiques d'entrée :

L'équation 5 donne l'entrée, elle est équivalente à un circuit à une seule maille contenant une résistance h_{11} parcourue par le courant i_b et $h_{12}v_{CE}$ comme source de tension contrôlée. h_{12} représente le coefficient de réaction interne du transistor ($h_{12} \approx 0$). De ce fait le circuit vu entre base et émetteur le transistor est le suivant :

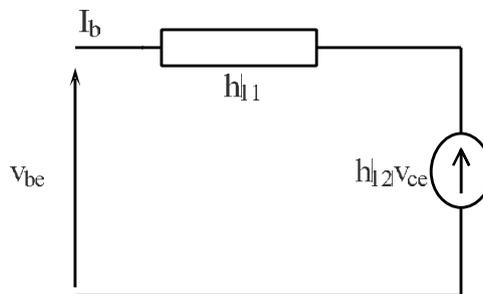


Schéma équivalent du circuit d'entrée.

b) Caractéristiques de sortie:

Le circuit de la sortie vu entre collecteur et émetteur du transistor est déduit de l'équation (6), il comporte un seul nœud avec deux branches ayant i_c Comme courant total, $\frac{1}{h_{22}}$ résistance d'une branche aux bornes de laquelle on a la tension v_{ce} et la deuxième branche est une source de courant contrôlée $h_{21}i_b$. h_{21} représente le gain en courant du transistor en émetteur commun (h_{21} est généralement très grand) :

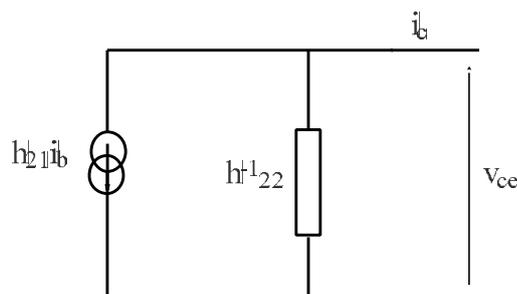


Schéma équivalent du circuit de sortie.

Par conséquent, l'association des deux circuits (entrée et sortie) nous donne le schéma global suivant

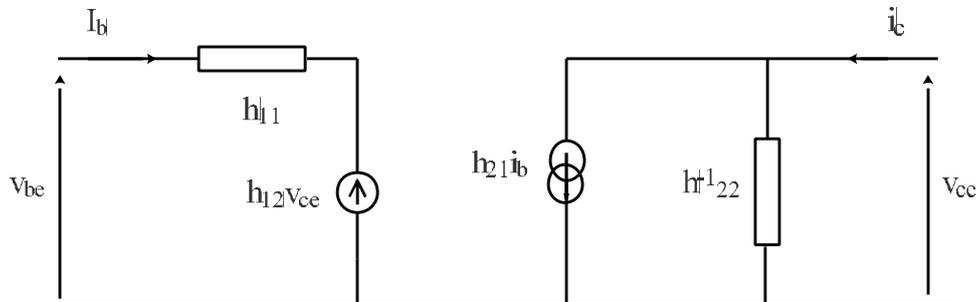
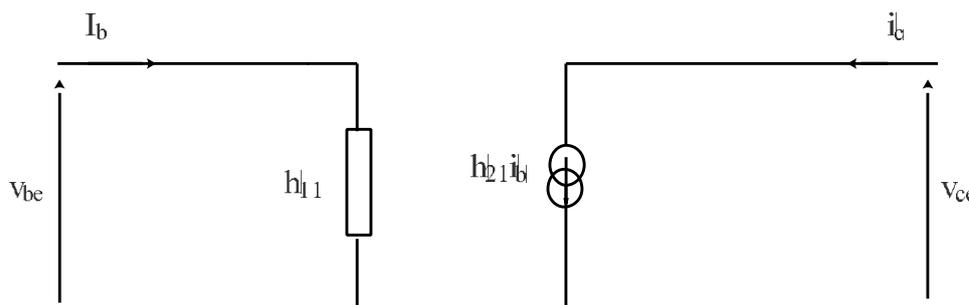


Schéma équivalent global du transistor bipolaire.

Remarque : La caractéristique est le plus souvent horizontale, h_{22} est très faible et donc sera le plus souvent négligé. En négligeant h_{12} et h_{22} du fait de leur faible valeur, nous obtenons le schéma simplifié dynamique du transistor :



Jusqu'à présent, nous n'avons abordé que le fonctionnement en continu (statique) du transistor pour ses différents montages. Les points de fonctionnement obtenus dans ce régime sont appelés points de repos. En utilisera l'indice 'o' pour désigner les tensions et courants correspondant à ces points.

Nous allons voir dans ce qui va suivre le régime de fonctionnement dynamique du transistor. C.à.d, que nous étudierons ce qui se passe si (à partir d'un instant) on fait varier légèrement le courant I_B autour de sa position de repos I_{B0} .

On a bien vu que si I_B augmente alors $I_C = \beta I_B$ augmente aussi (β fois plus vite).

De même si I_B diminue alors $I_C = \beta I_B$ diminue aussi (β fois plus vite).

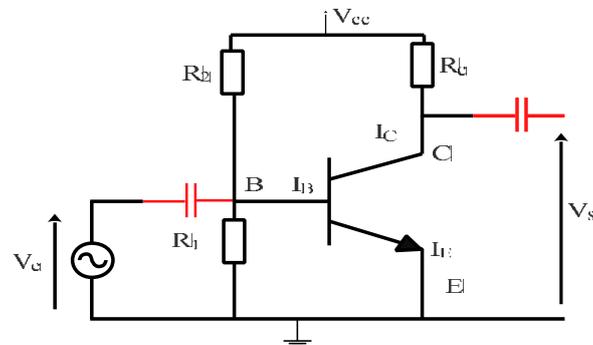
Et encore, si I_B varie sinusoidalement autour de I_{B0} avec une amplitude ΔI_B alors I_C varie sinusoidalement autour de I_{C0} avec une amplitude $\Delta I_C = \beta \Delta I_B$.

Nous avons vu que la tension de sortie est donné dans le cas du montage émetteur commun, par l'expression suivante : $V_{CE} = V_{CC} - I_C(R_C + R_E)$. On voit bien que V_{CE} varie en opposition de phase avec I_C .

Ce qu'il faut faire avant d'injecter une tension alternative dans un transistor ?

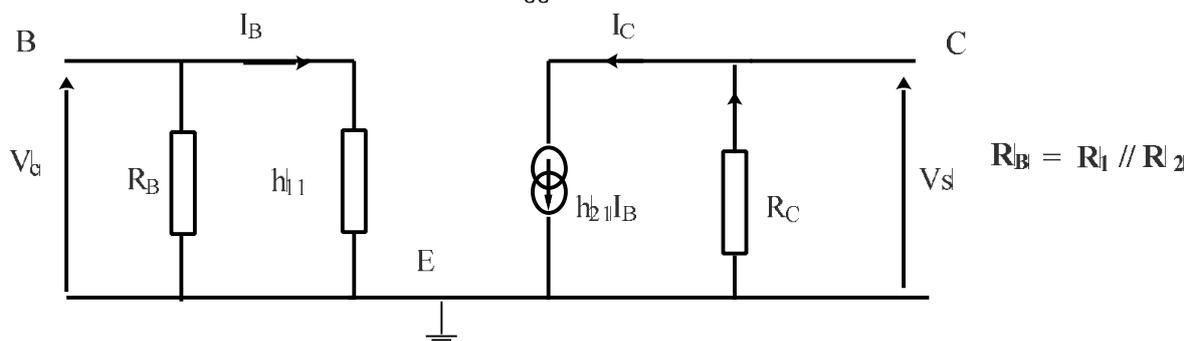
Pour injecter la tension alternative V_e sans que cela n'altère la polarisation du transistor en modifiant le point de fonctionnement statique, on utilise **des capacité de liaison** qui seront considérées comme des **courts-circuits** parfaits pour les signaux alternatifs et comme des **circuits ouverts** pour les courants et les tensions continus.

II.7.2 Montage Emetteur Commun :



Le montage illustré sur la figure ci-dessus. Son nom vient du fait que l'émetteur est relié à la masse (commun). C'est le montage amplificateur le plus utilisé. Le schéma équivalent global est obtenu, après avoir supposé que l'étude statique est déjà faite dans le cours passé, et suivre les étapes suivante :

- ✓ Le transistor est remplacé par son schéma équivalent en dynamique simplifié.
- ✓ Les condensateurs de liaisons sont remplacés par des courts-circuits (en dynamique)
- ✓ L'alimentation V_{CC} est remplacée par la masse, car ce montage est celui des variations et les variations de V_{CC} sont nulles car c'est une tension constante.



a) Détermination du gain de tension (A_v)

$$A_v = \frac{V_s}{V_e}$$

Avec

$$V_e = h_{11} \cdot I_B$$

$$V_s = -R_c \cdot I_c = -R_c \cdot h_{11} \cdot I_B = -R_c \cdot \beta \cdot I_B$$

Donc

$$A_v = \frac{-R_c \cdot \beta \cdot I_B}{h_{11} \cdot I_B}$$

D'où

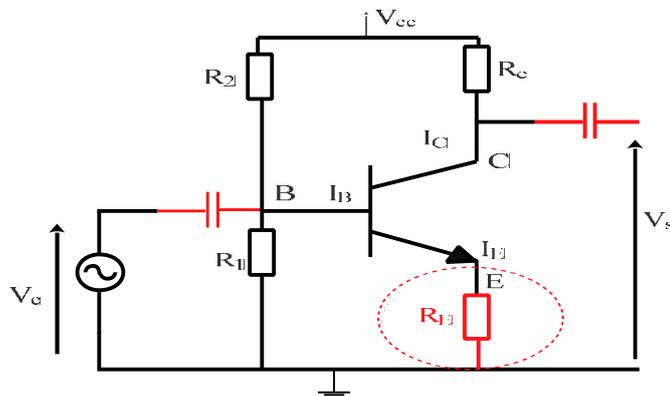
$$A_v = \frac{-R_c \cdot \beta}{h_{11}}$$

Le signe (-) indique l'opposition de phase entre les tensions d'entrée et de sortie.

b) Problème d'emballage thermique :

Le montage ci-dessus présente un **inconvenient** majeur, qui se présente par le phénomène d'emballage thermique (**échauffement excessif du transistor**). Sous l'effet RI^2 du courant I_C le transistor s'échauffe légèrement en raison de la puissance dissipée par effet Joule. Cette augmentation de température augmente le nombre de porteurs par le mécanisme de création de paires électrons-trou. La conséquence directe de l'augmentation du nombre de porteur est l'augmentation du courant I_B qui engendre une augmentation du courant I_C qui à son tour va engendrer une augmentation supplémentaire de la température du transistor et provoquer ce qu'on appelle un emballage thermique.

Pour remédier à ce problème, on ajoute une résistance sur l'émetteur du transistor. Cette résistance joue un rôle de stabilisation de la température car, si I_C augmente, alors la tension $V_E = R_E I_E$ augmente donc la tension de la base diminue provoquant la diminution de I_B et donc de I_C . le montage réel de l'amplificateur devient comme suit



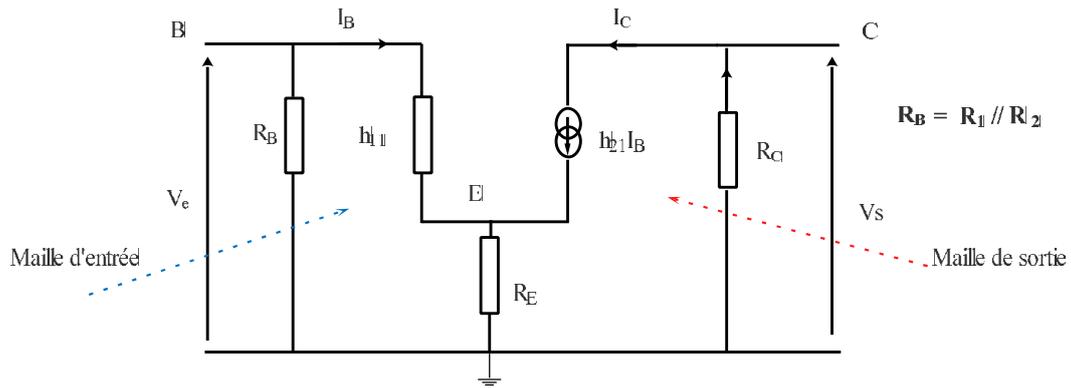


Schéma équivalent de l'amplificateur EC en alternatif avec R_E non découplée

$$V_e = h_{11} \cdot I_B + R_E(\beta + 1) \cdot I_B \text{ Maille d'entrée}$$

$$V_s = -R_C \cdot I_C = -R_C \cdot h_{11} \cdot I_B = -R_C \cdot \beta \cdot I_B$$

Donc

$$A_v = \frac{-R_C \cdot \beta \cdot I_B}{h_{11} \cdot I_B + R_E(\beta + 1) \cdot I_B}$$

D'où

$$A_v = \frac{-R_C \cdot \beta}{h_{11} + R_E(\beta + 1)}$$

Souvent le $h_{11} \ll R_E(\beta + 1)$ ce qui simplifie le gain de tension

$$A_v = \frac{-R_C}{R_E}$$

La résistance R_E permet de stabiliser le transistor thermiquement en régime statique, mais joue un rôle néfaste par rapport au gain A_v . De ce fait il faut l'isoler en régime dynamique.

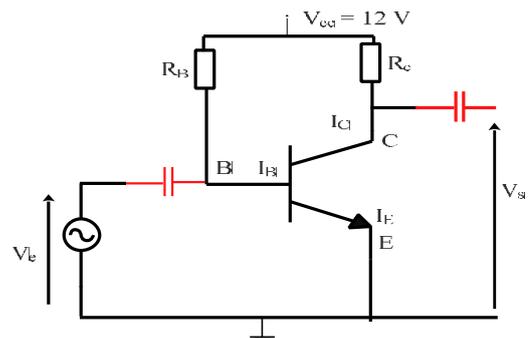
c) Exemple d'application 1 :

Polarisation : calculer les résistances pour avoir $V_{CE} = 12V, I_C = 1mA$

Puis h_{11} et A_v (étude en régime dynamique)

Données : $V_{CC} = 12V, V_{BE} = 0.6V$ et $\beta = 100$

Le montage :



Solution :

$$R_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{I_C} = \frac{12 - 6}{1 \cdot 10^{-3}} = 6 \cdot 10^3 \Omega.$$

$$R_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{I_B} = \frac{12 - 0.6}{1 \cdot 10^{-6}} = 11.4 \cdot 10^6 \Omega.$$

$$h_{11} = \frac{26\beta}{I_E |_{mA}} = \frac{26 \cdot 100}{1 + 10^{-3}} \approx 2600 \Omega$$

$$A_v = -\frac{\beta R_C}{h_{11}} \approx 230$$

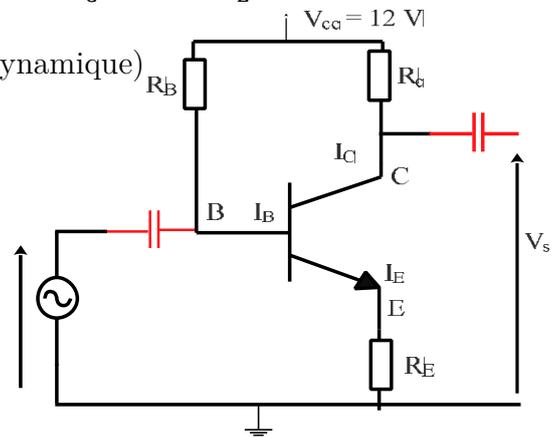
Donc cet amplificateur à un gain de 230 qui est une valeur tout à fait respectable pour ce genre d'amplificateur.

d) Exemple d'application 2 :

Polarisation : calculer les résistances pour avoir $V_{CE} = 5V, I_C = 1mA, V_E = 1V$

Puis h_{11} et le gain de tension A_v (étude en régime dynamique)

Données : $V_{CC} = 12V, V_{BE} = 0.6V$ et $\beta = 100$



Solution :

$$R_E = \frac{V_E}{I_C} = \frac{1}{1 \cdot 10^{-3}} = 10^3 \Omega.$$

$$R_C = \frac{V_{CC} - V_{CE} - V_E}{I_C} = \frac{12 - 5 - 1}{1 \cdot 10^{-3}} = 6 \cdot 10^3 \Omega.$$

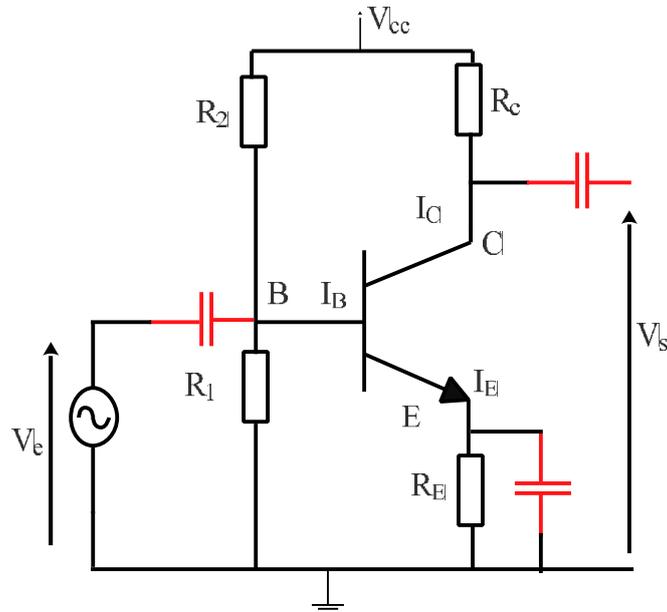
$$R_B = \frac{V_{CC} - (V_{BE} + V_E)}{I_B} = \frac{12 - 1.6}{1 \cdot 10^{-6}} = 10.4 \cdot 10^6 \Omega.$$

$$h_{11} = \frac{26\beta}{I_E |_{mA}} = \frac{26 \cdot 100}{1 + 10^{-3}} \approx 2600 \Omega$$

$$A_v = -\frac{R_C}{R_E} \approx -6$$

On voit bien que la résistance R_E joue un rôle efficace dans la stabilisation thermique mais elle a une influence néfaste sur le gain en tension il va falloir l'isoler pour remédier à ce problème dans le régime dynamique.

Pour ce fait, isolation de la résistance R_E dans le régime dynamique, on place un condensateur en parallèle avec celle-ci comme dans la figure ci-dessous.



Dans un montage comme celui là, la résistance R_E est découplée par un condensateur qui :

- ✓ N'intervient pas en statique, et R_E peut jouer son rôle de stabilisation thermique.
- ✓ Se comporte comme un court-circuit en dynamique, R_E n'apparaît pas dans le schéma équivalent et l'expression du gain sera :

$$A_v = -\frac{\beta R_C}{h_{11}}$$

e) Détermination de l'impédance d'entrée :

$$Z_e = h_{11} // R_E = \frac{h_{11} R_E}{h_{11} + R_E}$$

f) Détermination de l'impédance de sortie :

$$Z_s = \frac{V_S |_{\text{circuit ouvert}}}{I_C |_{\text{court circuit}}} = \frac{R_C \beta I_B}{\beta I_B}$$

En résumé, les caractéristiques du montage amplificateur à émetteur commun sont :

- Le gain en courant important
- Le gain en tension important
- Le gain en puissance également élevée
- Les phases des courants et des tensions sont de 180°
- Impédance d'entrée moyenne
- Impédance de sortie moyenne

Par la suite nous allons voir le **Montage Amplificateur Collecteur Commun**.

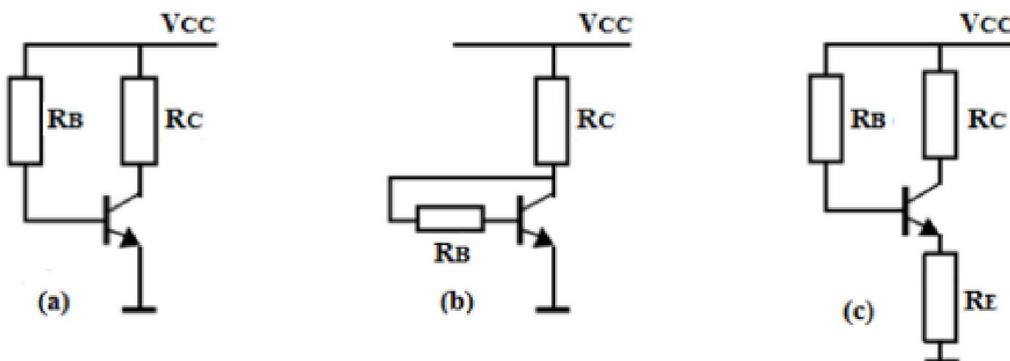
Bonne compréhension

Exercices d'application

Exercice 1 :

Soit les montages de polarisation d'un transistor représentés ci-dessous.

On donne : $V_{CC} = 15\text{ V}$, $V_{BE} = 0.7\text{ V}$, $R_C = 1\text{ k}\Omega$, $R_B = 220\text{ k}\Omega$, $R_E = 110\ \Omega$.

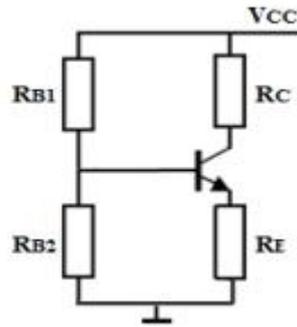


1. Pour chacun des trois montages, calculer le courant I_C pour $\beta = 100$ puis pour $\beta = 300$.
2. Quel est le montage le moins sensible aux variations de β ?

Exercice 2 :

La figure ci-dessous représente un circuit de polarisation du transistor NPN par deux résistances de base. On donne :

$V_{CC} = 15\text{ V}$, $V_{BE} = 0.7\text{ V}$, $R_C = 3\text{ k}\Omega$, $R_{B1} = 2.2\text{ k}\Omega$, $R_{B2} = 6.8\text{ k}\Omega$, $R_E = 2\text{ k}\Omega$



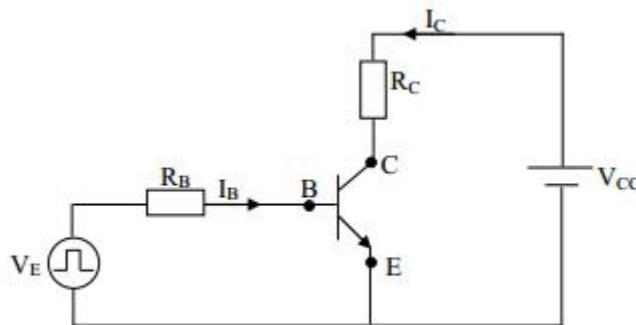
1. Faire la transformation du circuit de polarisation vu de la base du transistor en son équivalent de Thévenin et calculer E_{th} et R_{th} .

2. calculer le courant I_C pour $\beta = 100$ puis pour $\beta = 300$.

Exercice 3 :

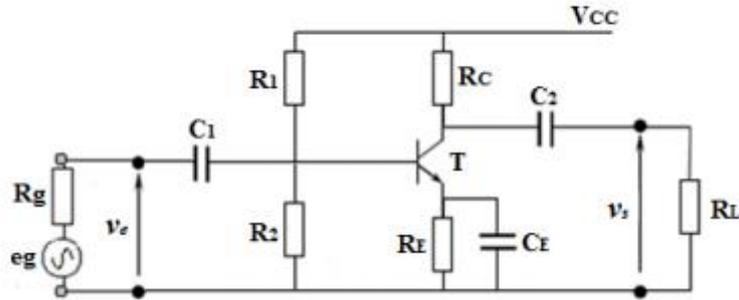
Soit le montage ci-dessous. V_E est un signal rectangulaire périodique d'amplitude $0/+5V$. On donne : $V_{CC} = 15V$, $V_{BEsat} = 0.6V$, $V_{CESat} = 0.1V$, $R_C = 1 k\Omega$, $\beta_{min} = 100$.

1. Calculer la valeur maximale de R_B (R_{Bmax}) qui permet de saturer le transistor lorsque $V_E = 5V$.



Exercice 4 :

On considère le montage ci-dessous



I. Etude statique

1. Donner le schéma équivalent du montage en régime statique.
2. On néglige I_B devant I_C . Donner l'équation de la droite de charge statique. Tracer cette droite.

II. Etude dynamique

1. De quel montage s'agit-il ? Justifier.
2. Donner le schéma équivalent de ce montage dans le domaine des petits signaux aux fréquences moyennes.
3. Déterminer l'expression du gain en tension (A_v). En déduire l'expression du gain en tension à vide (A_{v0}).
4. Déterminer les expressions de la résistance d'entrée (R_e) et la résistance de sortie (R_s) du montage.

Bon courage.

(La solution de cette série d'exercice sera publiée le mardi prochain, d'ici là je vais attendre vos corrigés. Bonne santé).