

Chapitre II. TRANSISTOR BIPOLAIRE (Suite)

II. Transistor Bipolaire

II.1. Introduction

II.2. Mode de polarisation du Transistor Bipolaire

II.3. Effet transistor

II.4 Différents montages des transistors bipolaires

- a. Émetteur Commun*
- b. Collecteur Commun*
- c. Base Commune*

II.4 Différents types de circuit de polarisation

II.4.1. Polarisation par résistance de base

- a. Polarisation par résistance de base sans réaction de l'émetteur RE
- b. Polarisation par résistance de base avec réaction de l'émetteur RE

II.4.2. Polarisation par résistance entre base

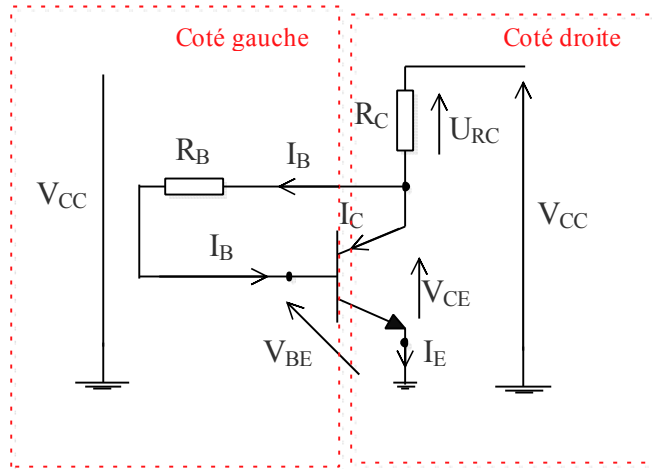
II.4.2. Polarisation par pont de résistance

II.5. Caractéristique

II.5. Régime de fonctionnement et caractéristique

II.6 Réseaux des caractéristiques pour les quatre quadrants

II.4.2. Polarisation par résistance entre base :



Selon la loi des tensions :

$$V_{CC} = U_{RC} + U_{RB} + V_{BE} \dots \dots \dots 1$$

Donc

$$V_{CC} = R_B I_B + R_C (I_C + I_B) + V_{BE}$$

$$V_{CC} = (R_B + R_C) I_B + R_C I_C + V_{BE}$$

$$V_{CC} - V_{BE} = (R_B + R_C) I_B + R_C I_C \dots \dots \dots 2$$

On sait bien que $I_B = I_C / \beta$, si on remplace I_B dans l'équation 2

$$V_{CC} - V_{BE} = (R_B + R_C) \frac{I_C}{\beta} + R_C I_C \dots \dots \dots 3$$

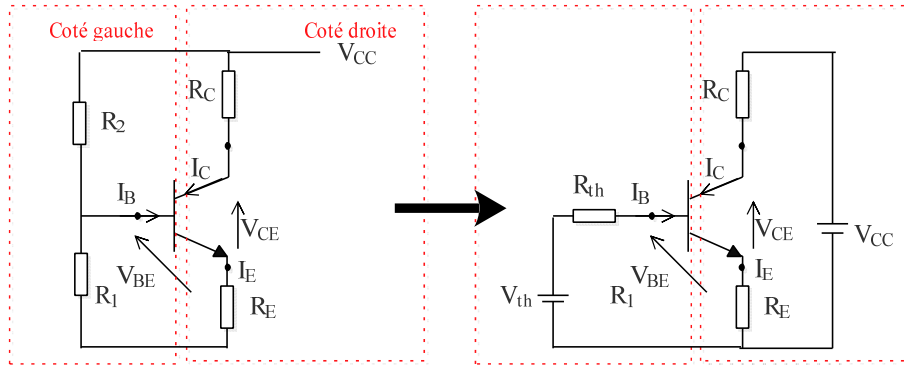
En fin nous aurons la valeur de I_C en fonction V_{CC} et comme suit

$$I_C = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{(R_B + R_C) \frac{1}{\beta} + R_C} \dots \dots \dots 4$$

Dans l'objectif de minimiser L'effet du gain sur le courant du collecteur I_C , en analysant bien l'équation 4,

si $\beta \nearrow \Rightarrow \frac{1}{\beta} \searrow \text{tends vers zéro}$ Donc non seulement nous allons supprimer la présence de β dans la formule calculant le I_C mais aussi nous allons augmenter sa valeur.

II.4.2. Polarisation par pont de résistance :



Application du théorème de thévenin

$$V_{th} = V_{CC} \frac{R_2}{R_1 + R_2} \text{ et } R_{th} = R_1 // R_2 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

Avec

$$I_B = f(V_{BE}) = - \frac{V_{BE}}{R_{th} + (\beta + 1)R_E} + \frac{V_{th}}{R_{th} + (\beta + 1)R_E}$$

$$I_C = f(V_{CE}) = - \frac{V_{CE}}{R_C + R_E} + \frac{V_{CC}}{R_C + R_E}$$

II.5. Régime de fonctionnement et caractéristique

En fonction du courant I_B injecté sur sa base, le régime de fonctionnement du transistor sera différent. Pour étudier le régime de fonctionnement d'un transistor, il faut dissocier chaque jonction.

Cela conduit à l'étude de deux circuits :

- le montage sur la jonction BE : le circuit de commande (coté gauche dans les montages).
- le montage sur la jonction CE : le circuit commandé (coté droite dans les montages).

Le circuit de commande définit si le transistor est passant ou bloqué suivant la polarisation de la jonction BE (directe ou inverse). De plus, le circuit commandé va limiter la valeur des courants I_C et I_E . Ils ne pourront donc pas dépasser une certaine valeur malgré l'effet transistor.

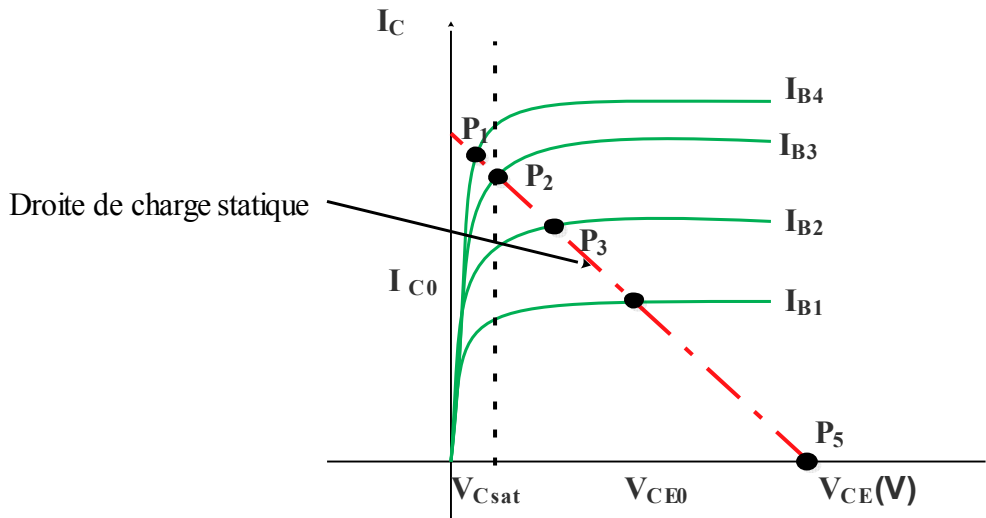
Chapitre II. TRANSISTOR BIPOLAIRE (Suite)

Ainsi, si I_B devient trop important, I_C ne pourra pas dépasser la valeur maximum fixée par le montage commandé et la jonction BC deviendra passante : le transistor sera saturé et il n'existera plus une relation linéaire entre I_B et I_C . Puisque les deux jonctions BC et BE sont passantes, la différence de potentiel entre les jonctions C et E sera très faible.

On voit donc apparaître trois régimes de fonctionnement :

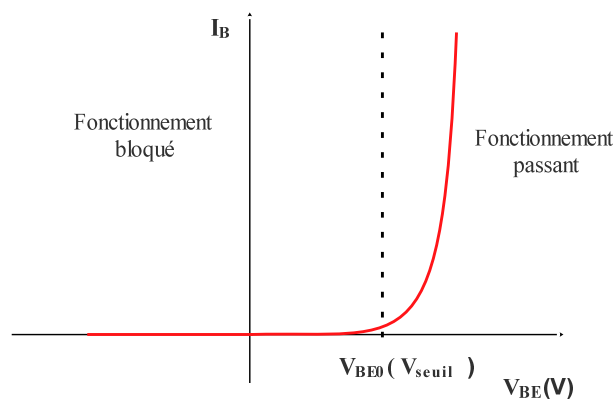
- **Transistor bloqué** : $I_B = 0 \Rightarrow I_C = 0$.
- **Transistor passant** : $I_B > 0 \Rightarrow I_C = \beta I_B \Rightarrow V_{CE} \neq 0$.
- **Transistor saturé** : $I_B > 0 \Rightarrow I_C = I_{C\text{sat}} \Rightarrow V_{CE} = V_{CE\text{sat}} \approx 0.2V$.

Remarque : le transistor bipolaire se comporte donc comme une source de courant commandé par un courant.



✓ Caractéristiques $I_B = f(V_{BE})$

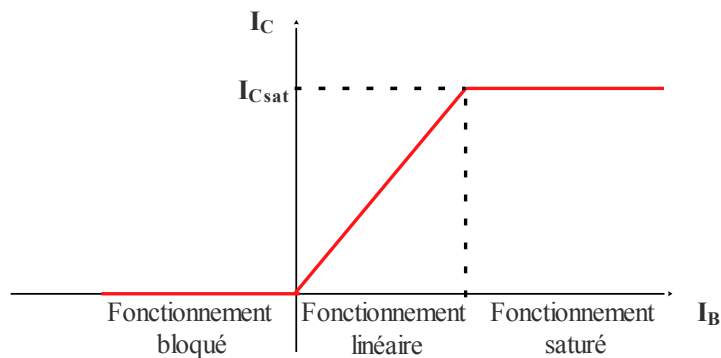
On retrouve la caractéristique d'une diode puisque la jonction BE est une jonction PN.



✓ Caractéristiques $I_C = f(I_B)$

On retrouve :

- $I_C = 0$ En fonctionnement bloqué.
- $I_C = \beta I_B$ en fonctionnement linéaire.
- $I_C = I_{Csat}$ en fonctionnement saturé



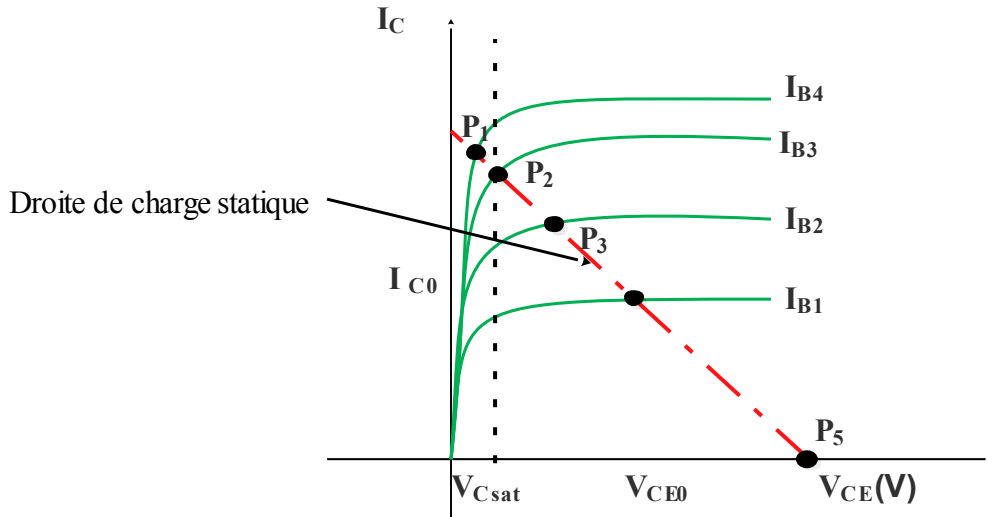
✓ Caractéristiques $I_C = f(V_{CE})$

Chaque courbe correspond à une valeur différente de I_B . La droite de charge est obtenue en écrivant la loi des mailles côté jonction CE. C'est la droite d'équation $I_C = (V_{CE})$.

Ainsi, en connaissant la valeur de I_B , on peut trouver le point de fonctionnement à l'intersection de la courbe correspondante et de la droite de charge.

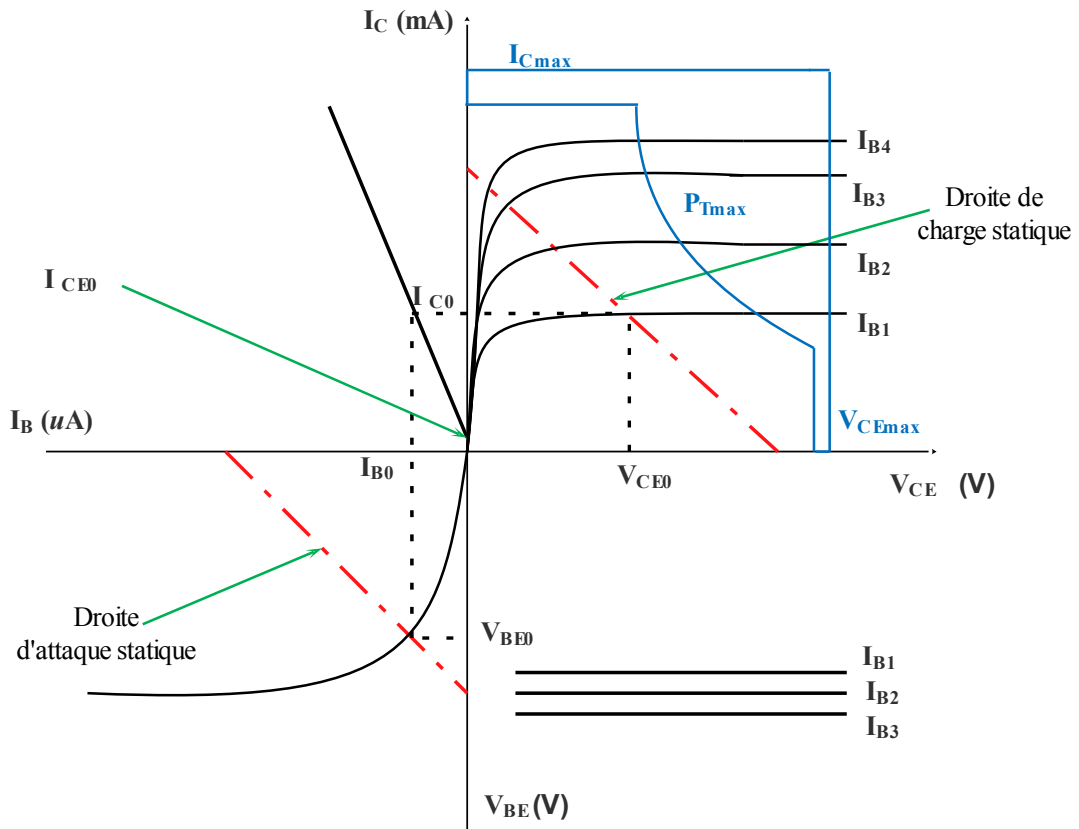
Si $I_B = I_{B2}$ alors le transistor est saturé et le point de fonctionnement se trouve en P_3 . Si $I_B = I_{B1}$, le transistor fonctionne en régime linéaire et le point de fonctionnement se trouve en P_4 . Enfin, si $I_B = 0$, le transistor est bloqué et le point de fonctionnement se trouve en P_5 .

Chapitre II. TRANSISTOR BIPOLAIRE (Suite)



II.6 Réseaux des caractéristiques pour les quatre quadrants:

On étudie un transistor au silicium de faible puissance. Pour les transistors au silicium la tension de seuil de la jonction émetteur-base est voisine de 0,6 V.



Réseau de sortie

C'est le réseau $I_C = f(V_{CE})$ avec I_B comme paramètre.

Chapitre II. TRANSISTOR BIPOLAIRE (Suite)

Dans ce réseau (tracé en rouge), on distingue 3 zones :

➤ $V_{CE} < 0,25 V$ $V_{CB} = V_{CE} - V_{EB} = 0,25 V - 0,65 V = -0,4 V$ La jonction BC est polarisée en direct : I_C varie linéairement avec V_{CE} .

➤ V_{CE} grand : il y a claquage inverse de la jonction et croissance du courant par avalanche. Il est souvent destructif ! Sur le schéma seule la première caractéristique a été prolongée jusqu'au claquage. Selon les transistors la tension de claquage varie de $30 V$ à $250 V$.

➤ V_{CE} intermédiaires : le courant collecteur est donné par la relation :

$$I_C = \beta \cdot I_B + I_{CE0} + k \cdot V_{CE} \dots \dots \dots k = \text{cst}$$

Il y a une légère croissance du courant avec V_{CE} . Plus cette tension croît et plus la zone où les recombinaisons électrons-trous se produisent est étroite. Cette dépendance du courant collecteur avec la tension de sortie se nomme l'effet Early. Les prolongements des parties rectilignes des caractéristiques vers les V_{CE} négatifs coupent l'axe $I_C = 0$ au point $V_{CE} = V_{Early} \approx (-50 \text{ à } -100)$

En pratique, on utilisera la relation simplifiée : $I_C = \beta \cdot I_B$

β est le gain en courant du transistor. Suivant le type des transistors et les conditions de fabrication, sa valeur varie entre **20 et 500**. Le gain des transistors de puissance est faible. Des transistors de même référence peuvent avoir des gains très différents. Le gain varie avec le courant collecteur, la tension V_{CE} et la température (terme I_{CE0}). La diminution de la largeur de base utile quand V_{CE} croît limite les possibilités de recombinaisons électron-trou et fait croître très légèrement α . Mais si par exemple α varie de **0,995 à 0,996** alors β varie de **200 à 250**.

La valeur élevée de β justifie les deux approximations suivantes souvent utilisées dans les calculs : $I_B \ll I_C \Rightarrow I_E \approx I_C$

I_B étant β fois plus faible que I_C , on peut considérer en première approximation que la puissance dissipée dans le transistor est : $P = V_{CE} I_C$.

Si la température augmente I_{CE0} croît et tout le réseau se translate vers les I_C croissants. I_C augmentant, la puissance dissipée au niveau du collecteur croît et la température du transistor augmente : si on ne limite pas ce phénomène cumulatif, le transistor peut être détruit par emballement thermique.

Réseau de transfert en courant

C'est le réseau $I_C = f(I_B)$ avec V_{CE} comme paramètre.

Ce réseau est constitué par un éventail de courbes presque linéaires passant par le point $I_B = 0$ et $I_C = I_{CE0}$. $I_C = \beta I_B + I_{CE0}$.

Réseau d'entrée

C'est le réseau $I_B = f(V_{BE})$ avec V_{CE} comme paramètre.

Dès que V_{CE} est supérieur à $0,65 V$, toutes les courbes sont pratiquement confondues car l'influence de la tension de sortie sur le courant d'entrée est négligeable. La courbe est identique à la caractéristique d'une diode qui est constituée par la jonction base émetteur. Pour un transistor au silicium, V_{BE} varie très peu et reste voisin de la tension de seuil de la jonction base-émetteur soit $0,65 V$.

Réseau de transfert en tension

C'est le réseau $V_{BE} = f(V_{CE})$ avec I_B comme paramètre.

On constate que les variations de la tension de sortie sont sans effet sur la tension d'entrée.

Conclusions :

Pour un transistor bipolaire polarisé correctement ($V_E < V_B < V_C$ pour un *NPN*), les courants base et collecteur sont reliés par la relation : $I_C = \beta \cdot I_B$..

Le gain varie avec le courant collecteur et avec la température.

La résistance d'entrée diminue avec le courant collecteur. De l'ordre de $1 k \cdot$ pour un transistor « petits signaux » elle est seulement de l'ordre de la dizaine d'ohms pour les transistors de puissance. La résistance de sortie est relativement grande ($\approx 20 k \cdot$) et on peut souvent la négliger dans les calculs sans commettre une erreur importante.

Au voisinage du point de fonctionnement, on peut considérer la tension base-émetteur comme constante et égale à un « seuil de diode » soit $0,65 V$ pour un transistor au silicium.

Cause de la dispersion importante des valeurs du gain en courant et de ses possibles variations en cours de fonctionnement, les montages calculés pour une valeur

Chapitre II. TRANSISTOR BIPOLAIRE (Suite)

particulière du gain sont de mauvais montages : le remplacement du transistor impose également celui des composants périphériques utilisés pour le polariser correctement.

Devoir de maison:

Veillez m'envoyer votre solution de l'exercice 3 de la série 1 (suite, cas sinusoïdale). Et la préparation de la série 2.

Cordialement.