

Chapitre 4

Transistor Bipolaire**1. Description et symbole :**

Le transistor bipolaire est un composant électronique discret constitué de trois électrodes Représentant la succession de trois semi-conducteurs, respectivement de type P-N-P ou N-P-N. Il s'agit, dans le premier cas, d'un transistor NPN, et dans le deuxième cas, d'un transistor PNP.

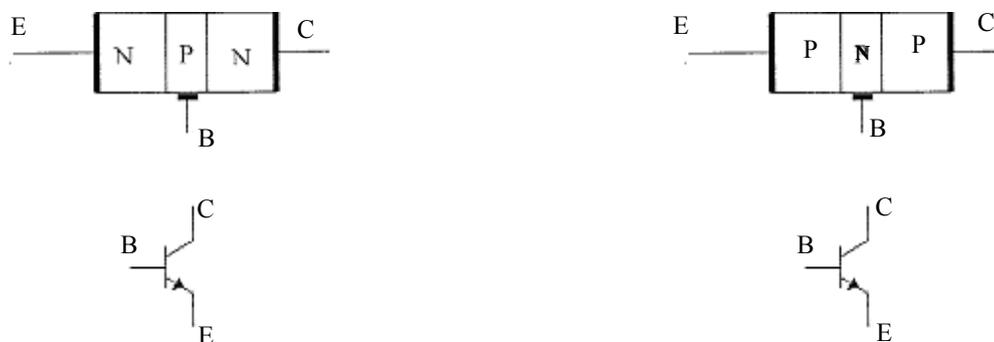


Figure IV-1 transistor NPN et PNP

B : Base,
E : Emetteur,
C : Collecteur

Par construction, les jonctions base - émetteur et base - collecteur ne sont pas identiques. Le transistor ne fonctionne pas de manière symétrique :

- Le collecteur et l'émetteur ont des dopages très différents.
- L'émetteur est beaucoup plus dopé que la base.
- La base est plus mince.
- La flèche qui repère l'émetteur indique le sens passant de la jonction base - émetteur.

2. Effet Transistor :

L'effet transistor apparaît lorsqu'on polarise la jonction base - émetteur en direct et la jonction base - collecteur en inverse.

2.1. Fonctionnement à courant de base nul :

Alimentons un transistor NPN comme indiqué à la figure IV-2. Le courant I_C est le courant inverse de la jonction base - collecteur, de l'ordre du nA et indépendant de V_{CB} , nous le noterons I_{COB}

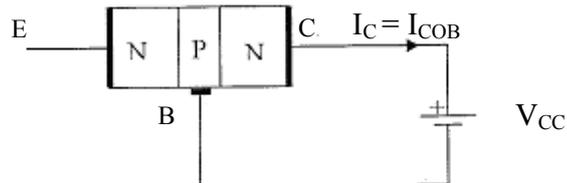


Figure IV-2

2.2. Fonctionnement à courant de base constant :

✓ Fonctionnement à collecteur ouvert :

✓

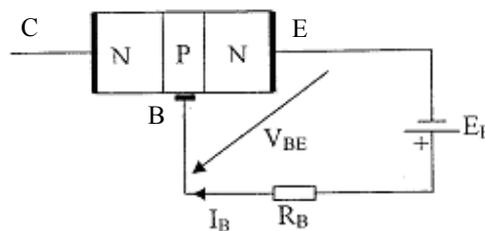


Figure IV-3

Alimentons un transistor NPN comme indiqué à la figure IV-3. la jonction base - émetteur est polarisée en direct, $V_{BE} = 0,7V$ (pour le silicium) Le courant de base est donné par :

$$I_B = \frac{E_B - 0,7}{R_B} \approx \frac{E_B}{R_B}$$

Ce courant ne dépend que des éléments extérieurs et est indépendant du transistor. La caractéristique $I_B = f(V_{BE})$ est celle d'une diode polarisée en direct. Le courant de collecteur est nul $I_C = 0$.

✓ Fonctionnement à collecteur fermé

Considérons le schéma de la figure IV-4

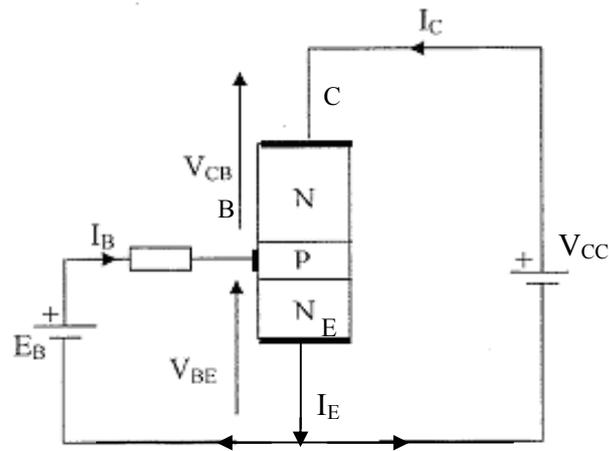


Figure IV-4

La jonction base - émetteur est polarisée en direct. Des trous sont injectés de la base vers l'émetteur alors que des électrons passent de l'émetteur vers la base. Cette diffusion donne naissance à un courant I_E . Ce courant est essentiellement dû aux électrons injectés de l'émetteur (plus dopé que la base). D'autre part, on a : $V_{CB} = V_{CC} - V_{BE} \approx V_{CC}$ est positive, donc, la jonction base - collecteur est polarisée en inverse.

Par construction, le collecteur capte un nombre d'électrons (courant I_C) beaucoup plus important que la base. Le courant de base, $I_B \approx \frac{E_B}{R_B}$, est indépendant du transistor. Il est nécessaire pour maintenir la concentration de trous dans la base.

Conclusion : L'effet transistor consiste à contrôler, à l'aide du courant de base I_B , relativement faible, un courant de collecteur I_C , beaucoup plus important.

✓ **Mise en équation :**

Considérons le schéma de la figure IV-5. La jonction base-collecteur est polarisée en inverse. La jonction base-émetteur est polarisée en direct.

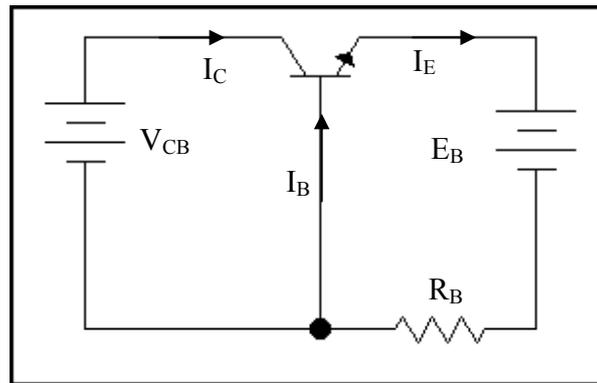


Figure IV-5

Le courant I_C résulte :

- du courant de fuite en base commune I_{COB} qui intervient sur le schéma de la figure IV-2
- du courant αI_E provenant des électrons injectés par l'émetteur, $0,9 < \alpha < 0,995$

soit,

$$I_C = \alpha I_E + I_{COB}$$

Et

$$I_E = I_C + I_B$$

De ces deux équations, on tire :

$$I_C = \frac{\alpha}{1-\alpha} I_B + \frac{I_{COB}}{1-\alpha}$$

Que l'on écrit sous la forme :

$$I_C = \beta I_B + I_{COE}$$

Avec :

$$\beta = \frac{\alpha}{1-\alpha} : \text{c'est le gain en courant en émetteur commun}$$

$$I_{COE} = \frac{I_{COB}}{1-\alpha} : \text{C'est le courant de fuite en émetteur commun.}$$

2.3. Caractéristiques du transistor :

Pour caractériser complètement le fonctionnement d'un transistor, il faut déterminer six grandeurs : I_C , I_B , I_E , I_{CE} , V_{BE} et V_{BC} .

On considère le transistor comme un quadripôle dont une électrode est commune à l'entrée et la sortie. Trois montages sont donc à envisager :

- base commune utilisé en haute fréquence,
- collecteur commun utilisé en adaptation d'impédance,
- émetteur commun utilisé en amplification et le plus commun.

Le montage émetteur commun (figure IV-6) :

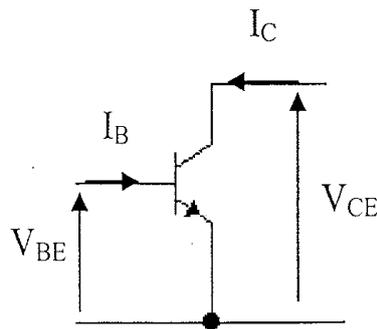


Figure IV-6

Les bornes d'entrée du tri pôle sont la base et l'émetteur; les grandeurs d'entrée sont : I_B et V_{BE} . La sortie se fait entre le collecteur et l'émetteur; les grandeurs correspondantes sont I_C et V_{CE} .

2.3.1. Montage pour le relevé des caractéristiques:

Pour procéder au relevé des caractéristiques on utilise le montage ci-dessous (figure IV-7) . Les paramètres d'entrée I_B et V_{BE} sont maintenus constants et on mesure I_C lorsque V_{CE} varie.

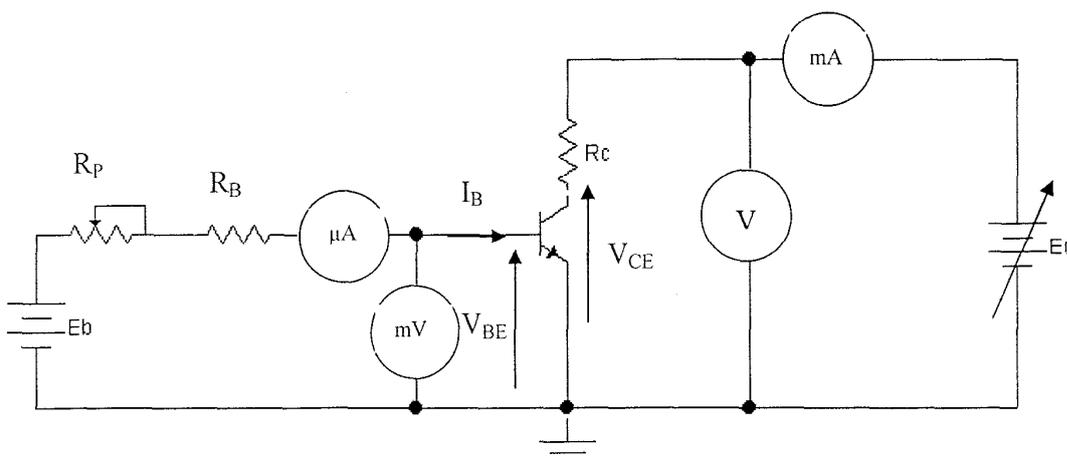


Figure IV-7

2.3.2. Réseaux de caractéristiques :

On étudie un transistor au silicium de faible puissance. Pour les transistors au silicium la tension de seuil de la jonction base-émetteur est voisine de 0,7V.

❖ Réseau de sortie

C'est le réseau $I_C = F(V_{CE})$ à $I_B = Cte$. Dans ce réseau on distingue trois zones :

- V_{CE} : faible (inférieure à 0,7V), la jonction base - collecteur est polarisée en directe. Le courant I_C varie linéairement avec V_{CE} .
- V_{CE} : grand, il y a claquage inverse de la jonction et croissance du courant par avalanche. Selon les transistors la tension de claquage varie de 30V à 250V.
- V_{CE} intermédiaires, le courant collecteur est donné par la relation : $I_C = \beta I_B + I_{C0E} + kV_{CE}$

Il y a une légère croissance de I_C avec V_{CE} . En pratique on utilise la relation simplifiée :

$$I_C = \beta I_B$$

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 varie avec le courant collecteur, la tension V_{CE} , et la température (terme I_{CEO}).

I_B , étant β fois plus faible que I_C . On peut considérer que la puissance dissipée dans le transistor est :

$$P = V_{CE} \cdot I_C$$

❖ Réseau de transfert en courant :

C'est le réseau $I_C = f(I_B)$ 0 à $V_{CE} = Cte$. La courbe est linéaire et passe par le point $I_B = 0$ et I_{CEO} . C'est la courbe représentative de l'équation :

$$I_C = \beta I_B + I_{C0E}$$

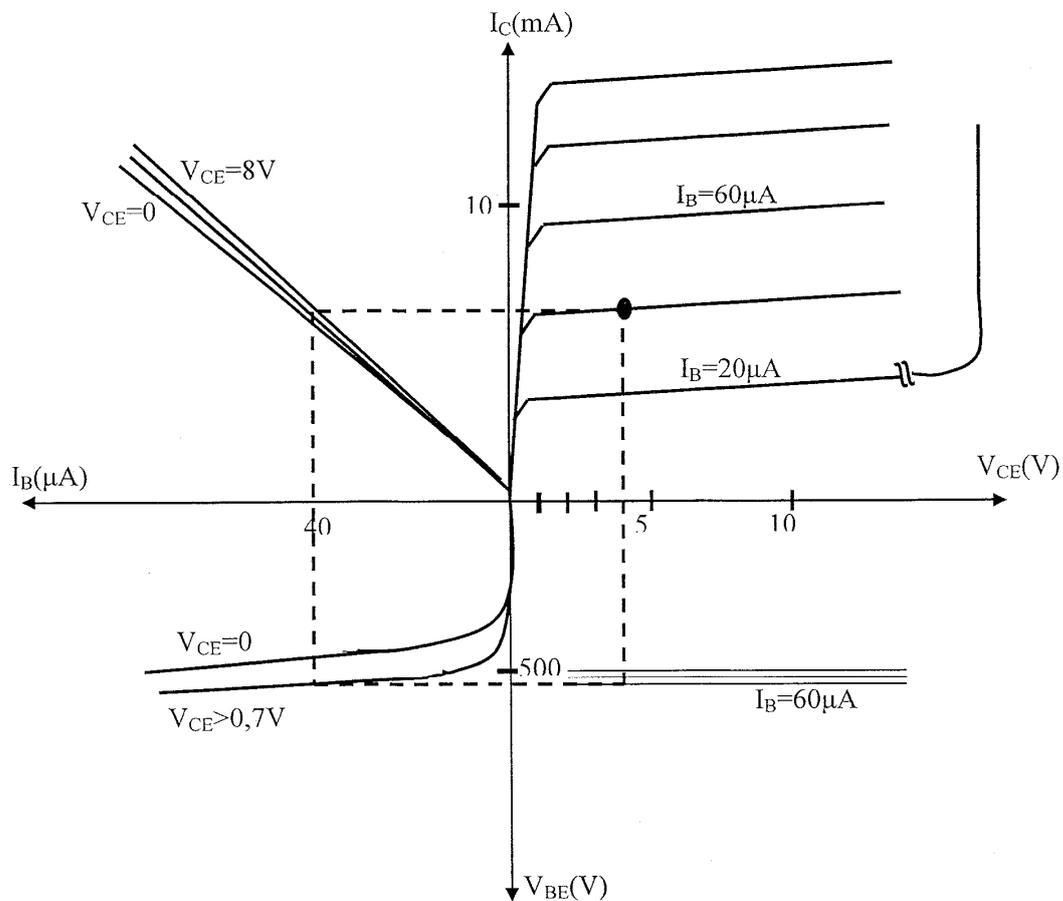


Figure IV-8

❖ Réseau d'entrée :

C'est le réseau $I_B = f(V_{BE})$ à $V_{CE} = Cte$. Dès que $V_{CE} \geq 0,7V$, toutes les courbes sont pratiquement confondues. La courbe est identique à la caractéristique d'une diode (jonction base-émetteur). Pour un transistor au silicium V_{BE} varie très peu et reste voisin de la tension seuil de la jonction base-émetteur, soit $0,7V$.

❖ Réseau de transfert en tension :

C'est le réseau $V_{BE} = f(V_{CE})$ à $I_B = Cte$. On constate que les variations de la tension de sortie sont sans effet sur la tension d'entrée.

2.3.3. Régimes de fonctionnement du transistor :

Considérons le schéma de la figure IV-9

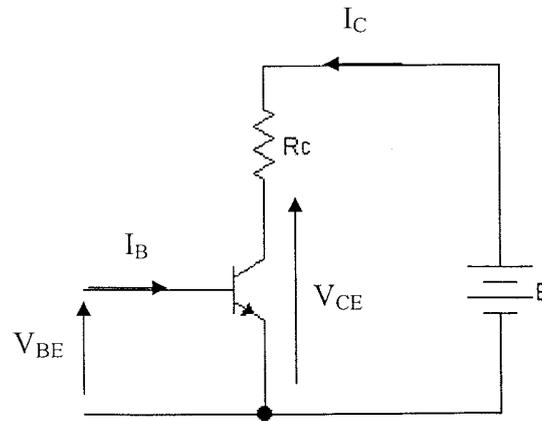


Figure IV-9

Nous allons chercher à déterminer la valeur du courant I_C et de la tension V_{CE} en fonction des éléments du montage. Nous disposons de deux équations :

- l'une provenant du transistor, donnée par le réseau de caractéristiques $I_C = f(V_{CE})$ à $I_B = \text{cte}$
- l'autre résultant de la loi des mailles : $E = R_C I_C + V_{CE}$

La droite représentative de cette équation est appelée droite de charge statique. Traçons cette droite dans le système d'axes $I_C = f(V_{CE})$. Figure IV-10.

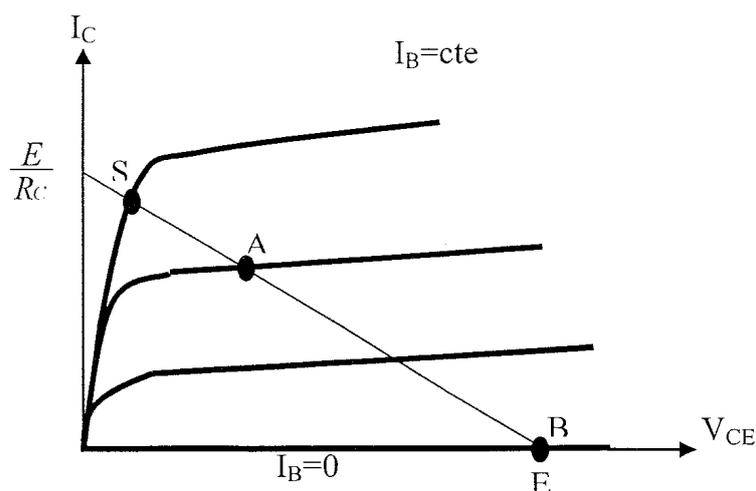


Figure IV-10

Les valeurs de I_C et de V_{CE} sont les coordonnées du point d'intersection de la droite de charge statique et de la caractéristique $I_C = f(V_{CE})$ correspondant à la valeur de I_B imposée par le réseau d'entrée.

Nous distinguons trois positions remarquables correspondant à trois fonctionnements particuliers du transistor :

- le point A dans la partie linéaire et horizontale des caractéristiques. Ce point correspond à un fonctionnement linéaire en **amplification**.
- Le point S dans la partie montante des caractéristiques. Le transistor est **saturé**. $V_{CE} \approx 0$ (quelques dixièmes de volt). Toute augmentation de I_B est pratiquement sans effet sur la valeur de I_C . Le transistor se comporte, entre collecteur et émetteur, comme un **interrupteur fermé**. On note : $V_{CE} \approx V_{CEsat}$
- Le point B pratiquement sur l'axe des V_{CE} . I_C est très faible. Le transistor est **bloqué**. Il se comporte, entre collecteur et émetteur, comme un **interrupteur ouvert**.

✓ Détermination de la condition de saturation :

Idéalisons la caractéristique $I_C = f(V_{CE})$, correspondant à un courant I_B comme indiqué à la figure IV-11. Le courant de base est fixe par le réseau d'entrée.

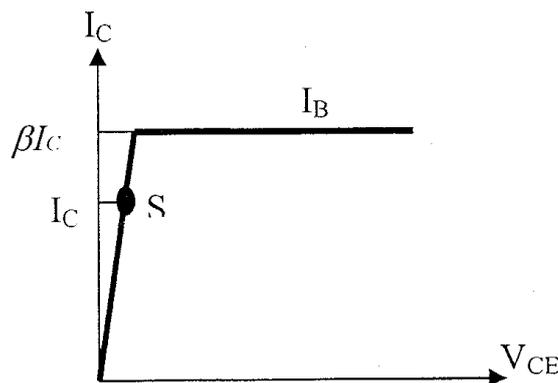


Figure IV-11

Pour que le transistor soit saturé (point de fonctionnement en S), il faut que son courant de collecteur I_C soit inférieur à βI_B , soit : $I_C < \beta I_B$

Exemple :

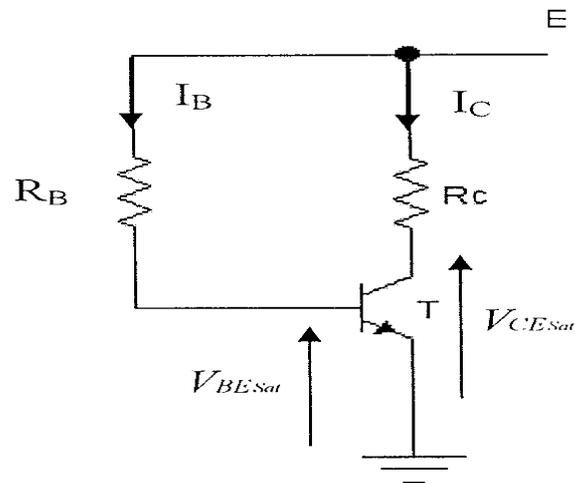


Figure IV-12

Calculons les éléments du dispositif de la figure IV-12 afin d'obtenir la saturation du transistor. Nous supposons que la tension d'alimentation est très supérieure à 0,6volt, c'est très grande par rapport à V_{BEsat} et V_{CEsat} . A partir des équations :

$$I_B = \frac{E - V_{BEsat}}{R_B} \approx \frac{E}{R_B}$$

$$I_C = \frac{E - V_{CEsat}}{R_C} \approx \frac{E}{R_C}$$

la condition de saturation s'écrit :

$$\frac{E}{R_B} \beta > \frac{E}{R_C}$$

Soit :

$$R_B < \beta R_C$$

3. Références des diodes et des transistors :

Exemples: la 1N4148 est une diode, le 2N2222A est un transistor a faible gain. La norme **Pro Electron** impose un codage comportant trois informations: une première lettre désigne le

matériau semi-conducteur utilise, une deuxième lettre renseigne sur la nature du composant, puis vient un groupe de trois chiffres (pour les produits "grand public") ou deux chiffres et une lettre (produits industriels).

Exemple:

B: silicium	A: diode, signal	100 à 999 ou 10 à 99 + lettre
	C: transistor, low power, audio frequency	
	D: transistor, power, audio frequency	
	F: transistor, low power, high frequency	
	R: switching device, low power (e.g. thyristor)	
	U: transistor, power switching	
	Y: diode, rectifier	

Exemples:

la **BA159** est une diode signal, le **BC547** est un transistor faible puissance, le **BD135** est un transistor de puissance.