

République Algérienne Démocratique et Populaire

**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la
Recherche Scientifique**

CENTRE UNIVERSITAIRE D'EL-OUED

INSTITUT DES SCIENCES ET TECHNOLOGIE

Mémoire de fin d'étude

Présenté pour l'obtention du diplôme de

LICENCE ACADEMIQUE

Domaine : Sciences Technologiques

Filière : Electronique

Spécialité : Télécommunications

Presenté par : *FEGUIRE Yasser

*CHIHANI Mohammed

Thème

Le transistor et les télécommunications

Soutenu le 26 Septembre 2010

Devant le jury composé de :

M.	RHOUMA Ferhat	Pr.	Président
M.	MEDJOURI Abdelkader	M.A.	Examineur
M.	MEHELLOU Saïd	M.A.	Rapporteur

2009-2010

Liste des figures

Figure 1.1 : atome d'arsenic.....	3
Figure 1.2 : dopage (N).	4
Figure 1.3 : Niveaux donneur.	5
Figure 1.4 : atome d'indium.	6
Figure 1.5 : Dopage (P).	6
Figure 1.6 : dopeur de type P.	7
Figure 1.7 : la représentation atomique pour le Si (16e-) et Ge (32e-).....	9
Figure 1.8 : conduction de semi-conducteur.	10
Figure 1.9 : phénomène de génération – recombinaison.	10
Figure 2.1 : les deux types de transistor.	12
Figure 2.2 : polarisation D/I d'un transistor NPN.	13
Figure 2.3 : polarisation D/D d'un transistor NPN.	13
Figure 2.4: polarisation I/I d'un transistor NPN.	14
Figure 2.5: quadripôle hybride.	14
Figure 2.6 : Modèle équivalent du quadripôle.	15
Figure 2.7 : Modèle équivalent d'un transistor.	15
Figure 2.8 : Montage en émetteur commun.	16
Figure 2.9 : Le schéma équivalent en dynamique d'un Montage E/C.	16
Figure 2.10 : Montage collecteur commun.	17
Figure 2.11 : Le schéma équivalent en dynamique d'un Montage C/C.	17
Figure 2.12 : Montage base commune.	18
Figure 2.13: Le schéma équivalent en dynamique d'un Montage B/C.	19
Figure 2.14 : Réseaux des caractéristiques d'un transistor NPN.	20
Figure 2.15 : montage de polarisation du transistor bipolaire.	21
Figure 2.16 : les courbes de caractéristique du BJT.	22
Figure 3.1 : Transistor JFET canal N.	25
Figure 3.2 : Caractéristique source commune du transistor JFET canal N.	27
Figure 3.3 : Architecteur et symbole du transistor MOS.	28

Figure 3.4 : Caractéristique du transistor MOS.	28
Figure 3.5 : Architecture et symbole du transistor unijonction.	29
Figure 3.6 : caractéristique du transistor unijonction.	30
Figure 4.1 : Modulateur AM à transistor bipolaire.	34
Figure 4.2 : Circuit de simulation.	35
Figure 4.3 : Visualisation du signal modulé.	35

Liste des figures

Figure 1.1 : atome d'arsenic.

Figure 1.2 : dopage (N).

Figure 1.3 : Niveaux donneur.

Figure 1.4 : atome d'indium.

Figure 1.5 : Dopage (P).

Figure 1.6 : dopeur de type P.

Figure 1.7 : la représentation atomique pour le Si (16e-) et Ge (32e-).

Figure 1.8 : conduction de semi-conducteur.

Figure 1.9 : phénomène de génération – recombinaison.

Figure 2-1 : les deux types de transistor.

Figure 2.2 : polarisation D/I d'un transistor NPN.

Figure 2.3 : polarisation D/D d'un transistor NPN.

Figure 2.4: polarisation I/I d'un transistor NPN.

Figure 2.5: quadripôle hybride.

Figure 2.6 : Modèle équivalent du quadripôle.

Figure 2.7 : Modèle équivalent d'un transistor.

Figure 2.8 : Montage en émetteur commun.

Figure 2.9 : Le schéma équivalent en dynamique d'un Montage E/C.

Figure 2.10 : Montage collecteur commun.

Figure 2.11 : Le schéma équivalent en dynamique d'un Montage C/C.

Figure 2.12 : Montage base commune.

Figure 2.13: Le schéma équivalent en dynamique d'un Montage B/C.

Figure 2.14 : Réseaux des caractéristiques d'un transistor NPN.

Figure 2.15 : montage de polarisation du transistor bipolaire.

Figure 2.16 : les courbes de caractéristique du TB.

Figure 3.1 : Transistor JFET canal N.

Figure 3.2 : Caractéristique source commune du transistor JFET canal N.

Figure 3.3 : Architecteur et symbole du transistor MOS.

Figure 3.4 : Caractéristique du transistor MOS.

Figure 3.5 : Architecteur et symbole du transistor unijonction.

Figure 3.6 : caractéristique du transistor unijonction.

Figure 4.1 : Modulateur AM à transistor bipolaire.

Liste des tableaux

Tableau 1.1: Semi-conducteurs et dopeurs.

Tableau 1.2 : Comparaison entre 'Si' et 'Ge'.

Tableau 3.1 : comparaison entre le transistor JFET et BJT.

Introduction générale

Les systèmes électroniques se sont développés dans les dernières années d'une façon extra ordinaire. Les diodes, les transistors et les circuits intégrés sont parmi les composants électroniques responsables de ce développement. On peut considérer le transistor comme l'élément le plus important parmi les autres composants électroniques. Pour ce là on va faire l'étude de cet élément et ses applications. L'une de ses applications est la modulation d'amplitude.

Donc notre but est de réaliser un modulateur d'amplitude à transistor bipolaire.

Ce circuit va être utilisé pour moduler un signal haute fréquence HF qui prendra la forme de l'information qui est le signal basse fréquence BF.

Le signal HF s'appelle la porteuse. Cette technique est très importante dans le domaine de télécommunication.

Ce mémoire contient quatre chapitres :

On va étudier :

- Dans le premier chapitre : les semi-conducteurs ;
- Dans le deuxième chapitre : les transistors bipolaires ;
- Dans le troisième chapitre : les types des transistors ;
- Dans le quatrième chapitre : un exemple d'application (la modulation).

1.1. Introduction

Par leurs propriétés électriques, les matériaux sont classés en trois groupes : les conducteurs, les semi-conducteurs et les isolants. Mais les semi-conducteurs sont les plus utilisés dans le domaine de l'électronique puisque ils possèdent plusieurs caractéristiques. Dans cette section, nous allons examiner les propriétés, les différents types et la conduction dans les semi-conducteurs [2].

1.2. Définition des semi-conducteurs

Un semi-conducteur est un matériau se situant entre le conducteur et l'isolant. Un semi-conducteur à l'état pur (intrinsèque) n'est pas un bon conducteur ni un bon isolant. L'élément le plus utilisé des semi-conducteurs est le silicium. Des éléments composés tel que l'arséniure de gallium est aussi couramment utilisés. Les semi-conducteurs à élément unique se caractérisent par des atomes à quatre électrons de valence [2].

1.3. Types des semi-conducteurs

1.3.1 Semi-conducteurs intrinsèques

Les atomes des semi-conducteurs tels que le Germanium, le Silicium, ... possèdent 4 e⁻ sur leur couche périphérique. On peut les produire avec un haut degré de pureté : moins d'un atome étranger pour 10¹¹ atomes de semi-conducteur.

- Ils sont isolants à 0° K et faiblement conducteurs à 300° K.
- Leur conductivité augmente avec la température T (augmentation du nombre d'électrons libres).

1.3.2 Semi-conducteurs extrinsèques

Par adjonction d'impuretés, c'est à dire par dopage, on peut modifier profondément les propriétés électriques du semi-conducteur intrinsèque, dans ce cas, le matériau est dit extrinsèque.

1.3.2.1 Dopage d'un Semi-conducteur

a) Définition du dopage

La conductibilité du semi-conducteur intrinsèque peut être augmentée et contrôlée par l'addition d'impuretés. Ce procédé, appelé dopage [1], augmente le nombre de porteurs libres.

b) Dopeurs

Les dopeurs sont les éléments de la colonne IIIB et de la colonne VB de la classification périodique des éléments (Tableau 1.1).

IIIB	IVB	VB
B (bore)	C (Carbone)	N (Azote)
Al (Aluminium)	Si (Silicium)	P (Phosphore)
Ga (Gallium)	Ge (Germanium)	As (Arsenic)
In (Indium)		Sb (Antimoine)

Tableau 1.1: Semi-conducteurs et dopeurs

La quantité de dopeur introduite est très faible : généralement, elle est de l'ordre d'un atome de dopeur pour un million d'atomes de Semi-conducteur.

L'atome du dopeur s'intègre dans le cristal du Semi-conducteur sans perturber la répartition des atomes parce que son volume propre n'est pas très différent de ceux des atomes de germanium ou de silicium.

Après dopage, la conductibilité est essentiellement due à la présence du dopeur :

La conductibilité est extrinsèque [1].

1.3.2.2 Semi-conducteur extrinsèque, type N

a) Dopeur

Il appartient à la colonne VB. Son atome possède cinq électrons périphériques. Il est électriquement neutre. Cet atome s'intègre dans le cristal du semi-conducteur comme le ferait un atome de celui-ci [1].

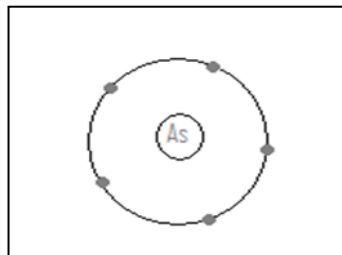


Figure 1.1 : Atome d'Arsenic.

b) - Dopage:

Si on introduit au sein du cristal de germanium ou de silicium pur un atome d'arsenic, quatre électrons sont nécessaires pour sa stabilité, le cinquième électron est donc en excès : il n'y a pas de place pour lui dans les liaisons covalentes. L'électron est en excès au point de vue place mais pas en tant que charge.

L'atome d'arsenic avec ces cinq électrons périphériques, perturbe l'harmonie et les propriétés diélectriques du cristal de germanium.

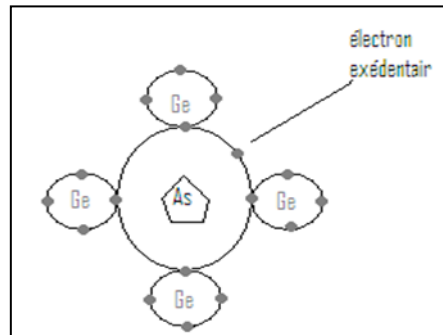


Figure 1.2 : Dopage (N).

Le cristal obtenu possède un électron de trop. L'introduction de plusieurs atomes du dopeur augmente la densité en électrons. Mais le cristal est électriquement neutre [1].

c) Libération de l'électron excédentaire

Cet électron excédentaire à un niveau d'énergie très proche de la bande de conduction du semi-conducteur (quelques centièmes d'électronvolt).

On dit qu'il introduit dans le semi-conducteur des niveaux donneurs voisins de la bande de conduction.

A partir du zéro kelvin, il suffit d'une petite élévation de température pour fournir cette énergie.

Tous les électrons excédentaires apportés par les atomes du dopeur se trouvent libérés et peuvent participer à la conduction.

Les porteurs sont de type N (négatifs), le dopeur est appelé donneur (en électrons) [1].

$$\text{Donneur} = N_D \quad (1.1)$$

Avec :

N_D : densité en atomes donneurs;

n : la densité des électrons.

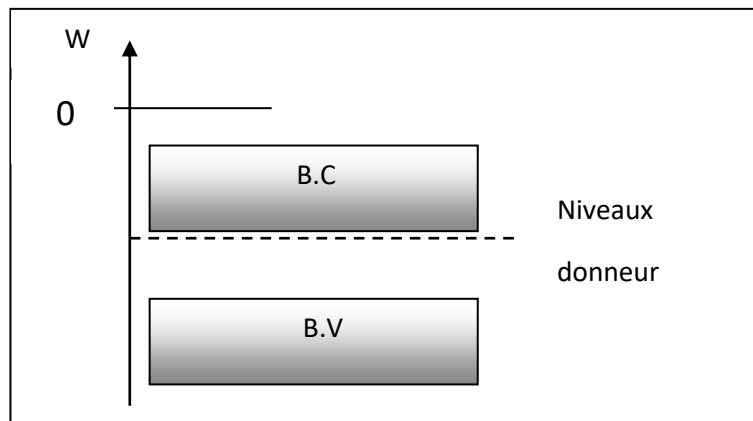


Figure 1.3 : Niveaux donneurs.

d) Porteurs

En quittant son atome, un électron y laisse une charge positive liée au noyau (ion positif) mais pas de place libre, pas de trou.

La conductibilité extrinsèque de type N apporte donc beaucoup d'électrons libres mais pas de trou.

Les seuls trous présents sont ceux avant le dopage, dans le semi-conducteur intrinsèque.

Il y a une surabondance d'électrons par rapport aux trous, la plupart se trouvent comblés par un électron : on dit qu'ils sont piégés par électrons.

Dans un semi-conducteur de type N, il y a :

- Beaucoup d'électrons originaires du dopeur;
- Peu d'électrons et encore moins de trous provenant des atomes du semi-conducteur initial (conductibilité intrinsèque).

Les électrons sont les porteurs majoritaires et les trous sont les porteurs minoritaires :

$$N_D \approx n \gg p_i$$

Avec : p_i : la densité des trous [1].

1.3.2.3. Semi-conducteur extrinsèque, type P

a) Dopeur

Il appartient à la colonne IIIB. Son atome possède trois électrons périphériques. Il est électriquement neutre. Cet atome s'intègre dans le cristal du Semi-conducteur comme le ferait un atome de celui-ci [1].

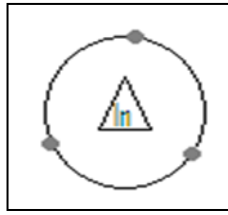


Figure 1.4 : Atome d'Indium.

b) Dopage

Si on introduit au sein du cristal de germanium ou silicium, un atome d'indium, quatre électrons sont donc nécessaires, alors que le dopeur n'en apporte que trois : une place d'électron est donc inoccupée et il y a un trou disponible au voisinage de l'atome dopeur. Ce trou est inoccupé mais sans charge.

Ce nouveau cristal, est électriquement neutre [1].

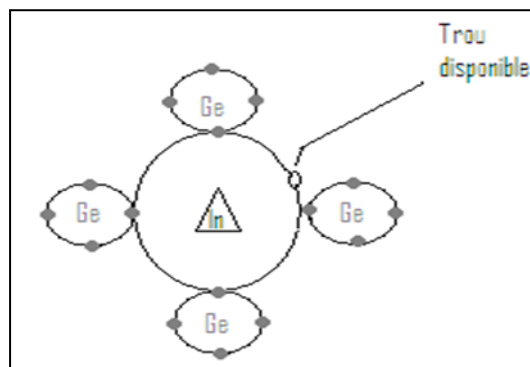


Figure 1.5 : Dopage (P).

Occupation du trou:

Le trou apporté par le dopeur est disponible et est susceptible de recevoir un électron.

L'énergie que doit avoir un tel électron est à peine supérieure à celle que possèdent les électrons de la bande de valence du semi-conducteur (quelques centièmes d'électronvolt en plus).

On dit qu'il introduit dans le semi-conducteur des niveaux accepteurs voisins de la bande de valence.

A partir de zéro degré, kelvin, il suffit d'une petite élévation de température pour fournir cette énergie.

Tous les trous des atomes du dopeur se trouvant occupés par un électron provenant de la bande de valence du semi-conducteur.

Les porteurs sont de type P (positif, le dopeur est appelé accepteur (en électrons) [1].

$$\text{ACCEPTEUR} = N_A \quad (1.2)$$

Avec :

N_A : la densité des atomes accepteurs;

P : densité des trous.

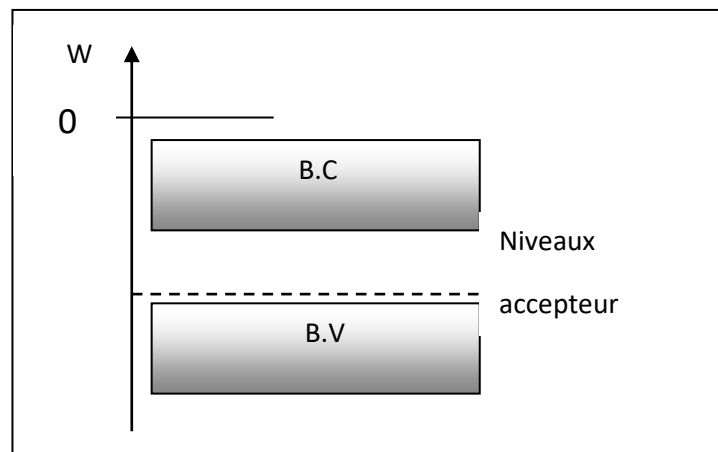


Figure 1.6 : Dopeur de type P.

Remarque

- Au voisinage de l'atome dopeur, il y a un électron excédentaire lié et l'ensemble est équivalent à un ion négatif.
- En quittant son atome, chaque électron sortant de la bande de valence a laissé dans celui-ci une place inoccupée et une charge positive excédentaire sur le noyau (trou positif) [1].

Porteurs

L'atome accepteur apporte beaucoup de trou mais pas un seul électron libre.

Les seuls électrons libres présents sont ceux qui existaient dans le semi-conducteur intrinsèque avant le dopage.

Il y a une surabondance de trou par rapport aux électrons libres, la plupart de ceux-ci sont piégés par un trou. Dans un semi-conducteur de type P, il y a :

- Beaucoup de trous dus à la présence du dopeur.
- Peu de trous et encore moins d'électrons provenant des atomes du semi-conducteur initial.

Les trous sont les porteurs majoritaires et les électrons sont les porteurs minoritaires [1]:

$$N_A \approx P \gg n_i$$

Avec : n_i : densité des électrons.

1.4. La conduction dans les semi-conducteurs

La façon par laquelle un matériau conduit le courant électrique est importante dans la compréhension du fonctionnement des composants électriques. Vous ne pouvez réellement saisir le fonctionnement d'un composant tel une diode ou un transistor sans quelques notions de base sur le phénomène du courant. Dans cette section, on étudiera comment la conduction se produit dans un matériau semi-conducteur [2].

1.4. 1 Les semi-conducteurs au (0°)

A 0° degré Kelvin, malgré le fait qu'ils sont périphériques, les e^- participant à des liaisons covalentes sont fortement liés au noyau car il n'y a pas d'agitation thermique.

→ Pas d'apparition de charges mobiles autorisant la circulation d'un courant électrique. Le semi-conducteur est alors un isolant.

1.4. 2 Les semi-conducteurs au dessus de (0°)

A température ambiante, l'agitation thermique provoque la rupture de quelques liaisons covalentes.

- L' e^- participant à ces liaisons acquiert l'énergie pour quitter l'atome auquel il était lié il devient porteur de charge libre, autorisant la circulation d'un courant électrique.
- le cristal semi-conducteur est alors un mauvais isolant.

L'atome de Si qui a perdu un e^- n'est plus neutre, donc il est alors devenu un ion +.

1.4.3 Comparaison entre le Silicium et le Germanium

Les structures atomiques du silicium et du germanium sont illustrées à la figure (1.7). Le silicium est le matériau le plus utilisé pour réaliser les diodes, les transistors, les circuits intégrés et autres composants à semi-conducteurs. Notez que le silicium et le germanium ont en commun la même caractéristique: quatre électrons de valence.

Les électrons de valence du germanium se situent dans la quatrième couche tandis que ceux du silicium sont à la troisième couche, plus près du noyau. Cela signifie que les électrons de valence du germanium sont à des niveaux d'énergie supérieurs à ceux du silicium. Par conséquent, ils demandent une plus petite quantité d'énergie additionnelle pour s'échapper de l'atome. Cette propriété rend le germanium plus instable à des températures élevées ; c'est la raison principale pour laquelle le silicium est le matériau semi-conducteur le plus utilisé [2].

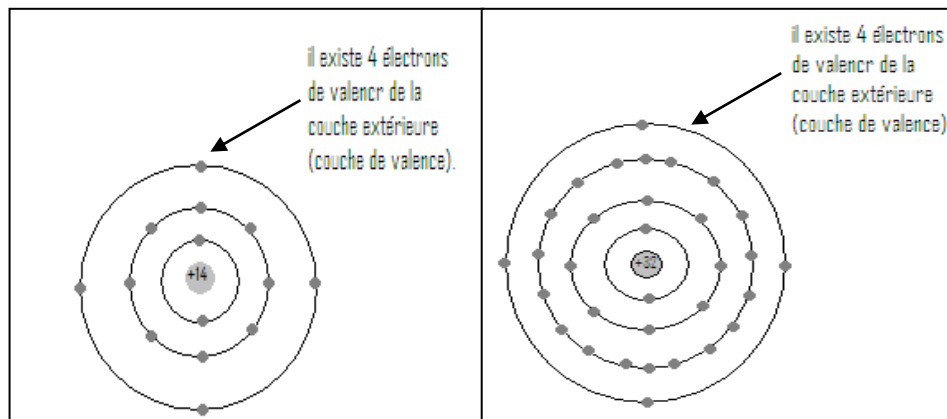


Figure 1.7 : Représentation atomique du Si (16e⁻) et du Ge (32e⁻)

Cristal	Ge	Si
Largeur de la BI W_G (eV)	0,66	1,12
Densité intrinsèque n_i (cm ⁻³)	$2,4 \cdot 10^{13}$	$1,45 \cdot 10^{10}$
Densité d'états utiles dans la BC pour les électrons N_C (cm ⁻³)	$1 \cdot 10^{19}$	$2,7 \cdot 10^{19}$
Densité d'états utiles dans la BV pour les trous PV (cm ⁻³)	$0,5 \cdot 10^{19}$	$1,1 \cdot 10^{19}$
résistivité intrinsèque ρ (Ω cm)	47	$65 \cdot 10^3$
Mobilité des électrons μ_n (cm ² /Vs)	3900	1500
Mobilité des trous μ_p (cm ² /Vs)	1900	450
Constante diélectrique relative	16	11,9

Tableau 1.2 : Comparaison entre le Si et le Ge

1.4. 4 Conduction dans les semi-conducteurs

Dans un semi-conducteur isolé, les porteurs de charge mobiles se déplacent de façon désordonnée dans tous les sens, ne permettant pas d'observer de circulation de charges à l'échelle macroscopique. Si on applique une différence de potentiel V aux bornes d'un semi-conducteur, il apparaît dans celui-ci un champ électrique E qui favorise le déplacement des trous dans le sens de E et celui des e^- mobiles dans le sens opposé à E du fait de :

$$\vec{E} = - \overrightarrow{grad} V \tag{1.3}$$

$$\vec{F} = q\vec{E} \tag{1.4}$$

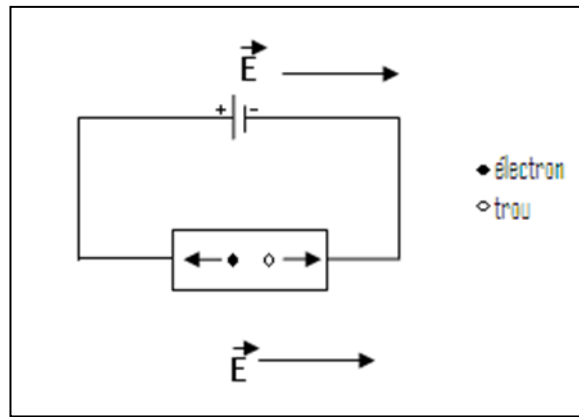


Figure 1.8: Conduction dans un semi-conducteur

1.4.5 Phénomène de génération - recombinaison

La notion essentielle est qu'un trou pourra participer à la conduction de la manière suivante : un électron d'une liaison voisine d'un trou pourra facilement se déplacer pour venir compléter cette liaison sous l'effet d'une faible énergie, laissant un trou là où il était. Tout se passe comme si le trou s'était déplacé dans la direction opposée à celle de l'électron. Ce phénomène est illustré à la figure 2 où on a représenté la génération d'un électron de l'atome A qui se recombine avec un trou de l'atome B qui avait initialement un manque d'électron. Tout se passe comme si le trou s'était déplacé de B vers A. Sous l'effet d'un champ électrique le déplacement moyen des électrons générés ne sera pas nul dans le sens opposé au champ électrique ce qui induit un déplacement équivalent des trous dans le sens du champ électrique.

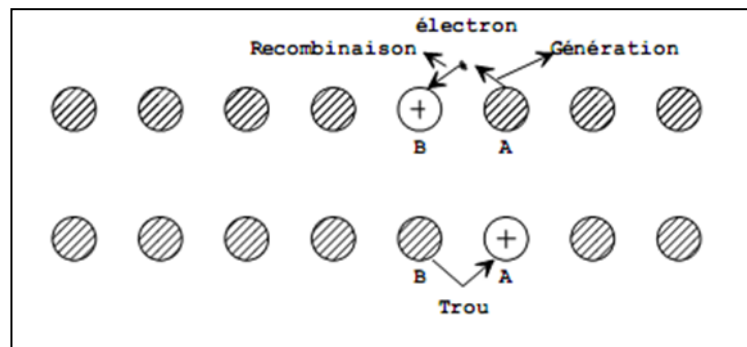


Figure 1.9: Phénomène de génération – recombinaison

1.5 Conclusion

Nous pouvons déduire de ce que précédé que les semi-conducteurs sont les éléments qui contiennent 4 e^- dans l'orbite finale '4 e^- de valence' (C, Si, Ge...), étant donné que les deux éléments Si et Ge sont les plus utilisés dans la fabrication des composants électroniques, mais c'est le Si qui prédomine parce qu'il contient moins d'orbitales si on la compare avec le Ge, cela signifie qu'il admet une énergie basse, ses électrons sont libres ce qui le rend plus conductible. Alors le Si dans sa situation pure 'intrinsèque' et à 0° degré de température ne permet pas la circulation du courant (isolant), il le permet uniquement dans le cas où il y a agitation thermique, et pour renforcer sa conductivité nous faisons le dopage du semi-conducteur avec d'autre matière de la colonne 5 du tableau périodique pour lui donner des électrons libres ; puis il devient négatif, et on l'appelle le semi-conducteur type N. Ou avec des matières de la colonne 3, pour accepter des électrons ; puis il devient positif et on l'appelle le semi-conducteur type P. Les deux types s'appellent semi-conducteurs extrinsèques, leur conductivité (intrinsèque) est négligeable par rapport la conductivité extrinsèque, ces sont les deux éléments qui sont utilisés dans la fabrication de composants électroniques non linéaires (diode, transistor, ...etc.).

2.1 Introduction

Dans le premier chapitre, nous avons vu qu'un semi-conducteur peut être de type N ou de type P, et dans ce chapitre nous allons voir qu'avec ces semi-conducteurs on peut construire un composant appelé transistor qui peut être du type NPN ou PNP.

Le premier transistor fut créé en 1947 par une équipe de trois inventeurs des laboratoires Bell. Bien que ce premier transistor ne fût une composante à jonction bipolaire, la première révolution technologique des semi-conducteurs était lancée.

De plus en plus complexes, les systèmes et composantes électriques d'aujourd'hui sont le produit d'une expansion des premiers développements du transistor à semi-conducteur [2].

2.2 Définition de transistor à jonction

Le transistor bipolaire à jonction (BJT) est doté de trois régions à semi-conducteur dopées, séparées par deux jonctions PN (figure 2.1). Les trois régions sont appelées *émetteur*, *base* et *collecteur*. Des représentations physiques des deux types de transistor bipolaire sont illustrées aux figures 2.1. Le premier type consiste en deux régions N séparées par une région P 'NPN' tandis que l'autre consiste plutôt en deux régions P séparées par une région N 'PNP' [2].

2.3 Les trois régions du transistor

La jonction PN reliant la région de la base et celle l'émetteur est appelée la jonction *base-émetteur*. La jonction reliant la région de la base et celle du collecteur est appelée la jonction *base-collecteur*, comme l'indique la figure 2-1. Un fil conducteur est branché à chacune des régions, tel qu'illustré. Ces fils portent les lettres E, B et C, soit respectivement l'émetteur, la base et le collecteur [2]. Le matériau de la base est faiblement dopé par rapport au dopage de l'émetteur et aussi le collecteur fortement dopé, mais moins que l'émetteur. L'épaisseur de la base varie de quelques microns à une cinquantaine de microns, selon le type d'utilisation du transistor. La surface de la jonction CB est de quelques dixièmes de mm².

Le terme *bipolaire* fait référence à l'utilisation comme des trous et des électrons comme porteurs dans la structure du transistor [2].



Figure 2-1 : Les deux types de transistors.

2.4 Types de polarisation du transistor NPN

2.4.1 Polarisation directe - inverse

La source de tension V_{BB} polarise en directe la jonction (émetteur-base).

La source de tension V_{CC} polarise en inverse la jonction (collecteur-base).

- les porteurs de charges majoritaires ne sont plus les trous mais les électrons.
- les porteurs de charges majoritaires (électrons) de l'émetteur diffusent vers le collecteur à travers la base.

L'émetteur étant fortement dopé, uniquement une très petite partie de ces porteurs majoritaires se recombinaient avec les trous de la base et le reste diffuse vers le collecteur [2].

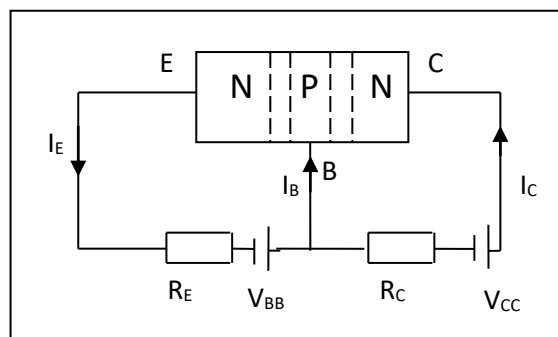


Figure 2.2 : Polarisation D/I d'un transistor NPN

2.4.1 Polarisation directe - directe

La source de tension V_{BB} polarise en directe la jonction (émetteur-base).

La source de tension V_{CC} polarise en directe la jonction (collecteur-base).

- les porteurs de charges majoritaires (électrons) de l'émetteur et du collecteur diffusent à travers la base, qui produit un grand courant dans la base. c.-à-d. le transistor en région de saturation.

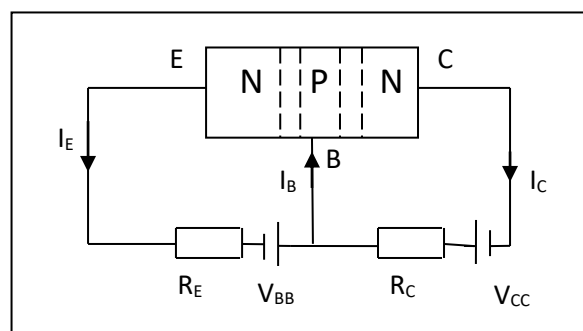


Figure 2.3 : Polarisation D/D d'un transistor NPN.

2.4.1 Polarisation inverse-inverse

La source de tension V_{BB} polarise en inverse la jonction (émetteur-base).

La source de tension V_{CC} polarise en inverse la jonction (collecteur-base).

- il n'y a pas de courant dans les deux jonctions. Donc le transistor dans l'état bloqué.

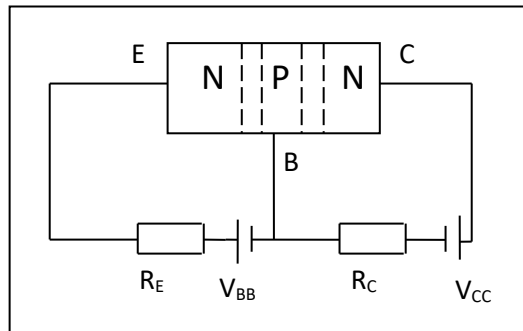


Figure 2.4: Polarisation I/I d'un transistor NPN.

2.5 les différents branchement du transistor

Le transistor a trois électrodes, il y a trois montages possibles.

- Emetteur commun (EC), Collecteur commun (CC) et Base commune (BC)

Pour étudier les différents branchements du transistor il faut avoir une idée des quadripôles, puisque le transistor peut se présenter comme un quadripôle.

2.5.1 Introduction aux quadripôles

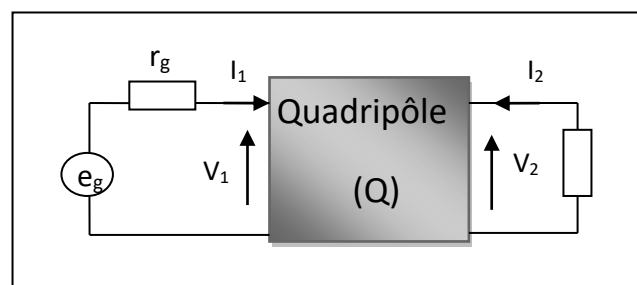


Figure 2.5 : Schéma d'un quadripôle.

a. Les paramètres hybrides d'un quadripôle (h)

$$V_1 = h_{11} I_1 + h_{12} V_2 \quad (2.1)$$

$$I_2 = h_{21} I_1 + h_{22} V_2 \quad (2.2)$$

Les termes h_{11} , h_{12} , h_{21} et h_{22} sont les paramètres hybrides du quadripôle. Ils sont réels et utilisés dans le domaine basse fréquence.

b. Modèle équivalent du quadripôle

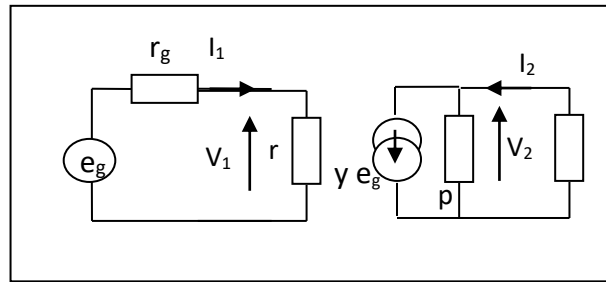


Figure 2.6 : Modèle équivalent du quadripôle.

r : (h_{11}) impédance d'entrée du quadripôle.

p : (h_{22}) admittance de sortie.

y : (h_{21}) trans-admittance.

2.5.2 Les paramètres hybrides (h) d'un transistor bipolaire

On retrouve les équations caractéristiques d'un quadripôle linéaire.

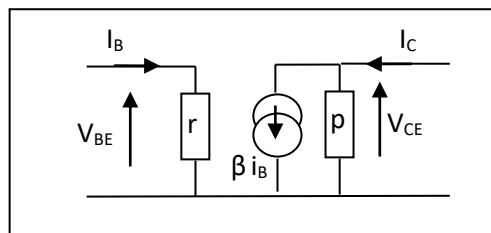


Figure 2.7 : Modèle équivalent d'un transistor.

$$V_{BE} = h_{11} I_B + h_{12} V_{CE} \quad (2.3)$$

$$I_C = h_{21} I_B + h_{22} V_{CE} \quad (2.4)$$

Donc :

$$h_{11} = \frac{V_{BE}}{I_B}, \quad h_{21} = \frac{I_C}{I_B}, \quad h_{22} = \frac{I_C}{V_{CE}} \quad \text{et} \quad h_{12} = \frac{V_{BE}}{V_{CE}}$$

Et : $h_{12} \approx 0$ (puisque la valeur V_{BE} est petite par rapport à la valeur de V_{CE} .)

2.5.3 Montage en émetteur commun

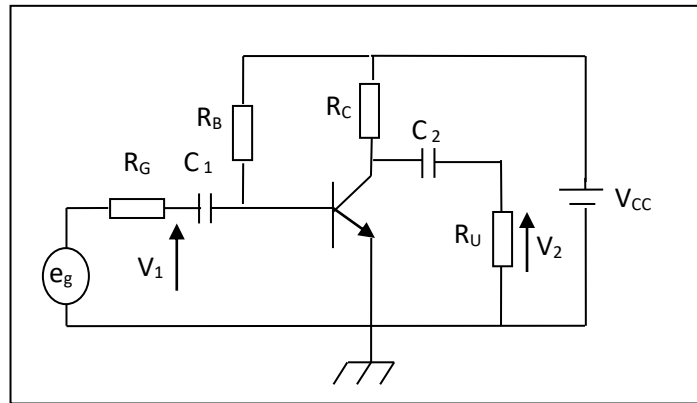


Figure 2.8 : Montage en émetteur commun.

Schéma équivalent en régime dynamique

Si la résistance R_B est négligée, On a : $I_1 = I_B$.

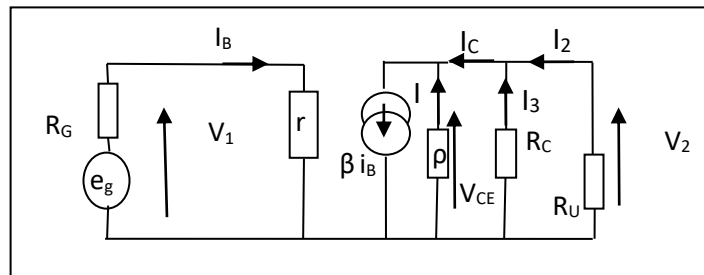


Figure 2.9 : Schéma équivalent en régime dynamique d'un Montage E/C.

Donc : Les équations de fonctionnement sont :

$$V_1 = E_G - R_G I_B \tag{2.5}$$

$$V_2 = - \frac{R_C R_U}{R_C + R_U} I_C \tag{2.6}$$

$$I_C = V_2 / \rho + \beta I_B \tag{2.7}$$

Amplification en courant

Avec: $R_0 = 1/\rho + 1/R_C + 1/R_U$

$$A_i = I_2 / I_1 = \beta R_0 / R_U \tag{2.8}$$

Amplification en tension

$$A_v = V_2 / V_1 = - \beta R_0 / r \tag{2.9}$$

Impédance d'entrée

$$Z_e = (V_1 / I_1) = r \tag{2.10}$$

Impédance de sortie

$$Z_s = \rho (R_C / R_C + \rho) \tag{2.11}$$

Influence de R_B

La résistance R_B n'influe pas sur l'amplification en tension et l'impédance de sortie. Mais influe sur l'amplification en courant et l'impédance d'entrée selon les relations suivantes :

$$A_i' = (\beta R_0 / R_U) \cdot (R_B / R_B + r) \tag{2.12}$$

$$Z_e' = R_B r / R_B + r \tag{2.13}$$

2.5.4 Montage en collecteur commun

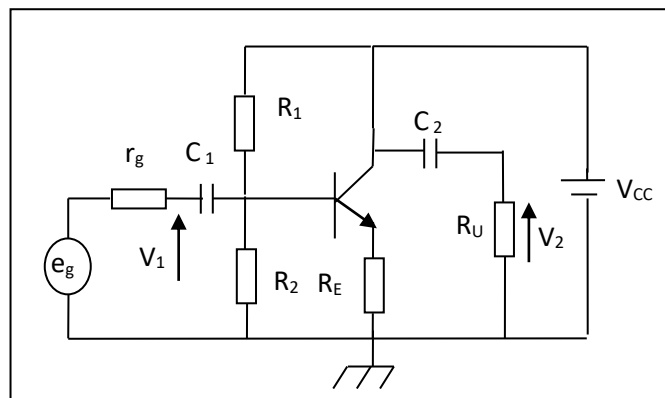


Figure 2.10 : Montage collecteur commun.

Le schéma équivalent en dynamique

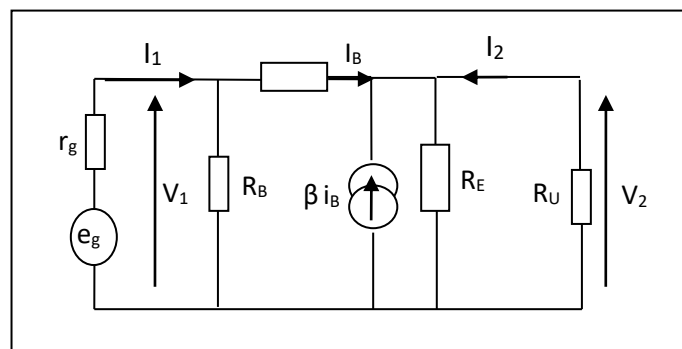


Figure 2.11 : Schéma équivalent en régime dynamique d'un Montage C/C.

On pose : $R = (R_E R_U / R_E + R_U)$ et $R_B = (R_1 R_2 / R_1 + R_2)$

Donc : Les équations de fonctionnement sont :

$$V_1 = r I_B + R (\beta + 1) I_B \tag{2.14}$$

$$V_2 = - R_U I_2 \tag{2.15}$$

$$I_2 = - (R_E / R_E + R_U) (\beta + 1) I_B \tag{2.16}$$

Amplification en courant

$$A_i = I_2 / I_1 = - (\beta + 1) (R_E / R_E + R_U) (R_B / R_B + R_e) \tag{2.17}$$

Avec : $R_e = r + (\beta + 1) (R_E R_U / R_E + R_U)$

Amplification en tension

$$A_v = V_2 / V_1 = (R / r + (\beta + 1) R) (\beta + 1) \tag{2.18}$$

Impédance d'entrée

$$Z_e = (V_1 / I_1) = (R_B R_e / R_B + R_e) \tag{2.19}$$

Impédance de sortie

$$Z_s = (R_E R' / R_E (\beta + 1) + R') \tag{2.20}$$

Avec : $R' = r + (R_G R_B / R_G + R_B)$

2.5.5 Montage en base commune

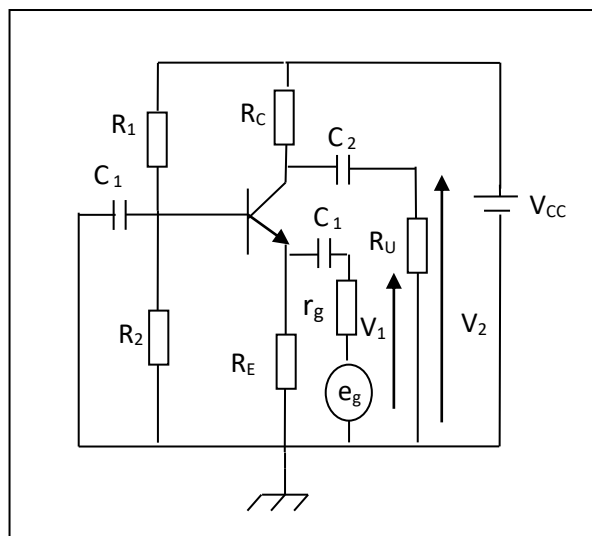


Figure 2.12 : Montage base commune.

Le schéma équivalent en régime dynamique

On pose : $R = R_C R_U / (R_C + R_U)$

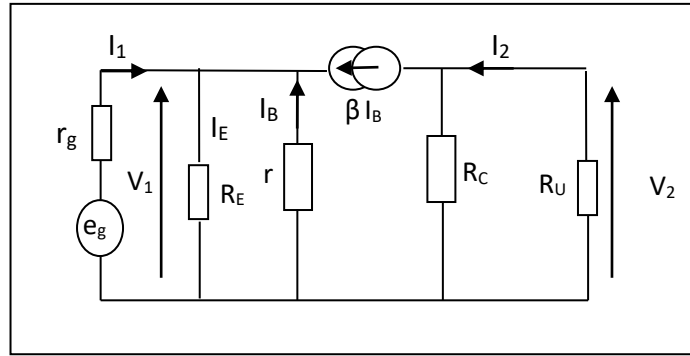


Figure 2.13: Schéma équivalent en régime dynamique d'un Montage B/C.

Donc : Les équations de fonctionnement sont :

$$V_1 = - r I_B \quad (2.21)$$

$$V_2 = - R \beta I_2 \quad (2.22)$$

$$I_2 = - (R / R_U) \beta I_B \quad (2.23)$$

$$I_1 = i - i_B (1 + \beta) \quad (2.24)$$

Amplification en courant

$$A_i = I_2 / I_1 = - \beta (R / r + (\beta + 1) R_E) \quad (2.25)$$

Amplification en tension

$$A_v = V_2 / V_1 = (R / r) \beta \quad (2.26)$$

Impédance d'entrée

$$Z_e = (V_1 / I_1) = r R_E / r + R_E (\beta + 1) \quad (2.27)$$

Impédance de sortie

$$Z_s = R_C \quad (2.28)$$

2.6 Caractéristique d'un transistor NPN

2.6.1 Réseaux de caractéristiques

Les caractéristiques statiques d'un transistor sont un ensemble de courbes représentant l'interdépendance qui existe entre les tensions et les courants continus d'un transistor (I_B , I_C , V_{BE} , V_{CE}).

A partir de ce réseau, on peut déterminer :

* Les régions de fonctionnement d'un transistor qui sont : la région active, la région de saturation et la région de blocage.

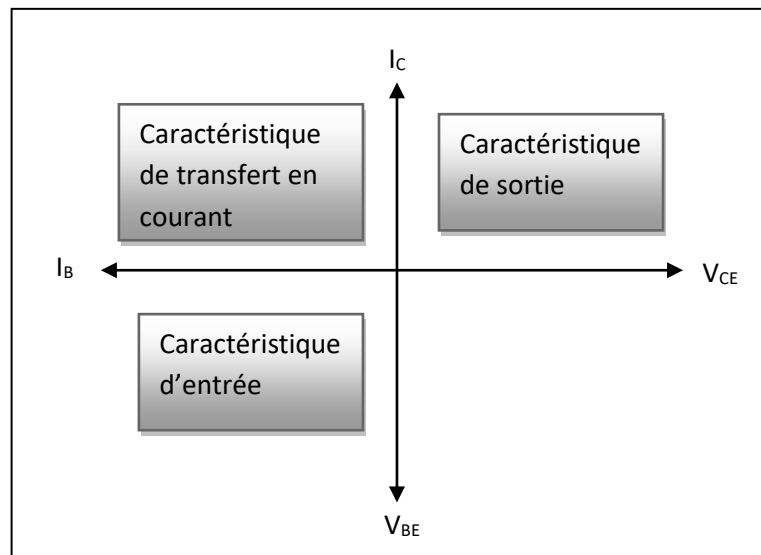


Figure 2.14 : Réseaux des caractéristiques d'un transistor NPN.

* Les paramètres d'amplification d'un transistor en basse fréquence (paramètres hybrides).

* Les caractéristiques statiques sont essentiellement au nombre de trois. Pour tout l'ensemble de cette étude, nous étudierons les caractéristiques statiques du montage émetteur –commun [1].

2.5.2 Principaux réseaux

Trois réseaux présentent un intérêt particulier.

a) - Réseau d'entrée

C'est l'ensemble des courbes $V_{BE}(I_B)$, tracées pour diverses valeurs constantes de V_{CE} .

b) - Réseau de transfert en courant

C'est l'ensemble des courbes $I_C(I_B)$, tracées pour diverses valeurs constantes de V_{CE} .

c) - Réseau de sortie

C'est l'ensemble des courbes $I_C(V_{CE})$, tracées pour diverses valeurs constantes de I_B .

2.6.3 Caractéristiques statiques du transistor

Le montage ci-contre permet de déterminer les réseaux de caractéristiques.

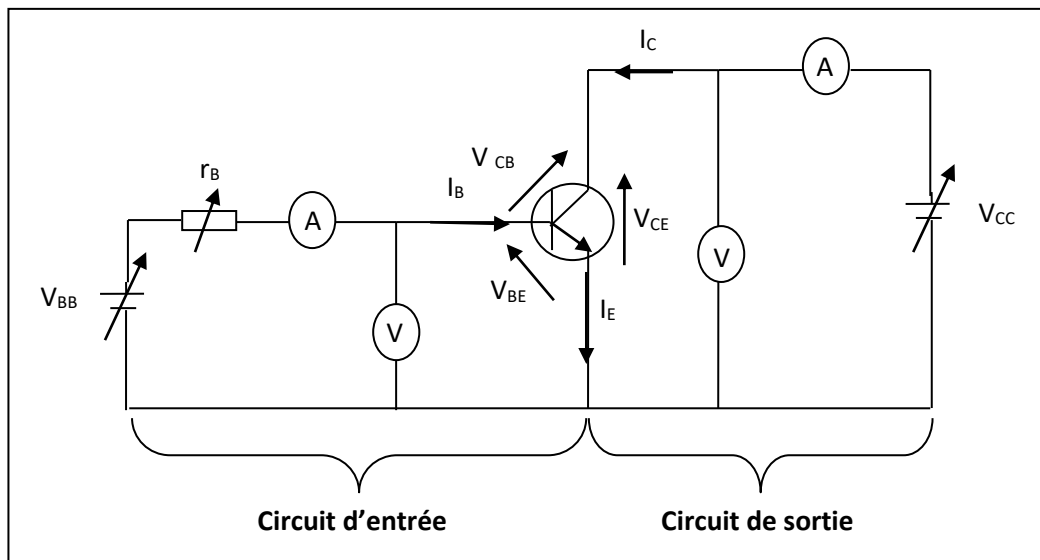


Figure 2.15 : Montage de polarisation du transistor bipolaire.

a) - Courbe d'entrée

$$I_B = f(V_{BE}) \text{ avec } V_{CE} = \text{constante.}$$

La source de tension variable V_{CC} maintient V_{CE} constant alors que V_{BB} fait varier I_B et V_{BE} .

La jonction base-émetteur est polarisée en direct et la courbe obtenue, n'est autre que la caractéristique de cette jonction.

Le seuil pratique de tension est 0,68 V pour le silicium et 0,2 V pour le germanium [1].

b) - Réseau de transfert

$$I_C = f(I_B) \text{ avec } V_{CE} = \text{constante.}$$

La source de tension variable V_{CC} maintient V_{CE} constant alors que V_{BB} fait varier I_B et I_C .

Les caractéristiques passant par 0, sont sensiblement rectilignes et presque confondues. Le courant I_C est pratiquement proportionnel à I_B ($I_C = \beta I_B$) [1].

c) - Réseau de sortie

$$(I_C = f(V_{CE})) \text{ avec } I_B = \text{constante.}$$

La source de tension variable V_{BB} maintient I_B constant alors que V_{CC} fait varier I_C et V_{CE} .

Dès que V_{CE} atteint une certaine valeur dite de saturation, les caractéristiques sont pratiquement rectilignes ; elles s'écartent légèrement l'une de l'autre quand V_{CE} croit. Ces portions de courbes constituent le domaine linéaire où les variations de I_C sont faibles. Ce domaine sera choisi pour l'étude du fonctionnement du transistor en amplificateur.

Quand V_{CE} devient inférieure à la tension de saturation, la partie curvée de chaque caractéristique vient se raccorder sur une courbe unique commune. Le courant I_C varie avec la tension V_{CE} [1].

2.6.4 Régions de fonctionnement d'un transistor bipolaire

a - Région de saturation

C'est la région où le courant de base n'est pas proportionnel au courant collecteur. Elle est limitée par la tension de saturation ($V_{CE(sat)}$) qui est de l'ordre de :

- * 0,1 à 0,2 V pour les transistors à faible puissance de dissipation.
- * 1 à 2 V pour les transistors de puissance [1].

b - Région de blocage

C'est la région où dans le transistor ne circule aucun courant ($I_C \approx 0$) [1].

c - Région active

C'est la région où le courant I_C est presque indépendant de la tension collecteur-émetteur V_{CE} . C'est la région d'amplification linéaire du transistor [1].

d - Région d'avalanche

C'est la région similaire à celle des diodes. Si la tension V_{CE} dépasse une certaine valeur imposée par le constructeur ($V_{CE(max)}$) il en résulte un très fort courant [1].

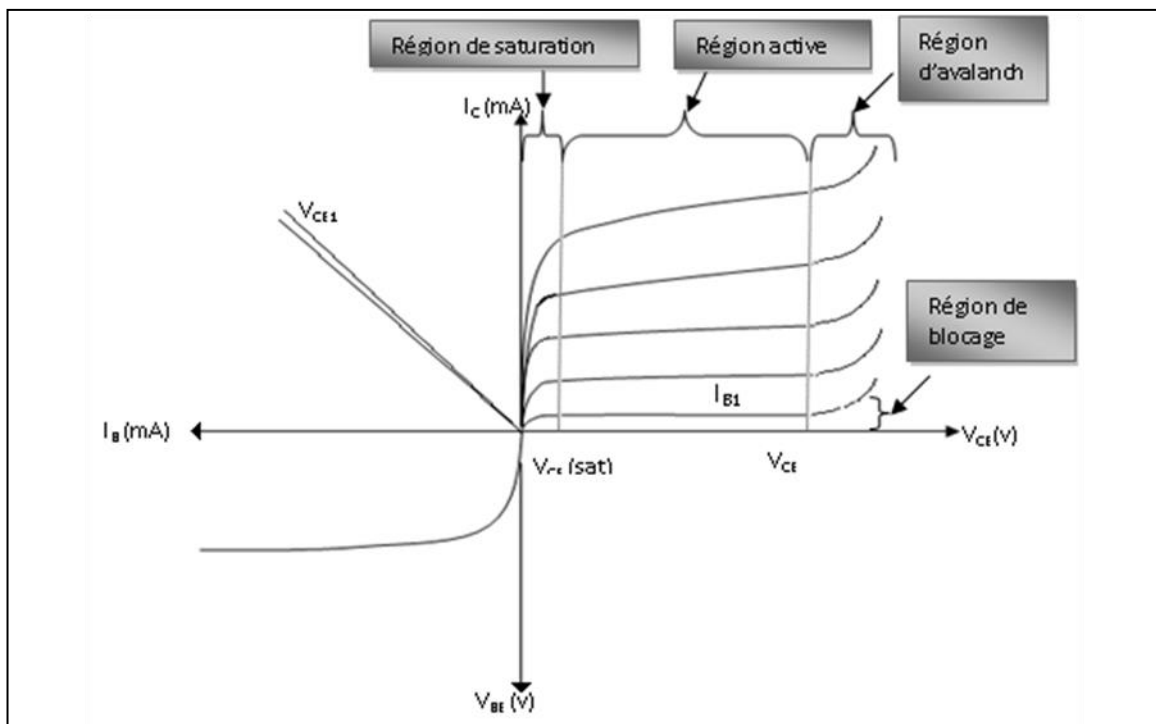


Figure 2.16 : Courbes caractéristiques du TB.

- Puissance dissipée :

C'est la somme des puissances dissipées par les circuits d'entrée et de sortie du transistor.

$$P = V_{CE} I_C + V_{BE} I_B \quad (2.29)$$

Le second terme est généralement négligeable devant le premier [1].

$$P \approx V_{CE} I_C \quad (2.30)$$

- Température de jonction:

Elle est limitée de façon absolue aux valeurs pour les diodes : 200° C pour le silicium et 100° C pour le germanium, au-delà il y a risque de destruction.

Le plus souvent, le fonctionnement correct du transistor impose une température maximale de jonction Θ_j bien inférieure à ces valeurs.

Pour le Silicium $|\Theta_j| \leq 200^\circ \text{C}$, et pour le germanium $|\Theta_j| \leq 100^\circ \text{C}$ au-delà il y a risque de destruction.

La température limite étant fixée, la puissance dissipée dépendra de la température ambiante Θ_a et de la conductance thermique λ [1].

$$P_{\max} = \lambda (\Theta_j - \Theta_a) \quad (2.31)$$

2.6.4 Régimes de fonctionnement d'un transistor

a) - Etat normal ou linéaire

L'état normal ou linéaire est l'état correspondant à une polarisation directe de la jonction base-émetteur et à une polarisation inverse de la jonction base-collecteur. C'est état exige que la tension V_{CE} reste supérieure à la tension V_{BE} .

Les relations entre courants (en particulier $I_C = \beta I_B$) sont applicables [1].

b) - Etat bloqué

L'état bloqué est l'état correspondant à une polarisation inverse de la jonction base-collecteur.

La tension V_{BE} doit être inférieure au seuil ; il est préférable qu'elle soit nulle, voire négative.

Le courant de base est nul donc I_C aussi [1].

Remarque : C'est l'un des deux états du transistor utilisé en commutation [1].

c) - Etat saturé

L'état saturé est l'état correspondant à une polarisation directe de la jonction base-collecteur [1].

Remarque:

- * C'est le second état de commutation du transistor.
- * L'intensité du courant de base est très supérieure à la valeur de l'intensité I_B dans l'état normal. On a [1] :

$$\beta_{\text{sat}} = I_C / I_B \quad (2.32)$$

2.7 Conclusion

Nous pouvons déduire de ce qui précède que le transistor se compose de trois pôles : l'émetteur E, la base B et le collecteur C. Où l'émetteur et le collecteur doivent être du même type N ou P et la base est différente, nous pouvons obtenir alors deux types de transistors soit NPN ou PNP et pour que le courant passe librement, E doit être plus épais que C mais B est moins épaisse que les deux. Ces trois semi-conducteurs forment deux jonctions base-émetteur et base-collecteur. On a alors trois possibilités de polarisation, soit directe-directe c'est le cas où le courant est max, c'est le régime de saturation, soit inverse-inverse ce régime ne permet pas le passage du courant électrique, et c'est l'état bloqué du transistor, la dernière polarisation est couramment utilisée, c'est la polarisation directe-inverse où le transistor fonctionne dans la région linéaire. Trois montages du transistor sont possibles : émetteur commun EC, base commune BC et collecteur commun CC. Et c'est le montage EC qui est le plus utilisé car on a amplification de courant et de tension.

Le transistor est utilisé comme amplificateur de signaux, comme on peut l'utiliser comme interrupteur électronique.

3.1 Introduction

Dans le chapitre précédent, nous avons vu les transistors bipolaires à jonction. Maintenant, nous allons voir d'autres types de transistors : le transistor à effet de champ 'FET', on a deux types, le transistor à effet de champ à jonction 'JFET' et le transistor à effet de champ à semi-conducteur métal-oxyde 'MOSFET', et le troisième type est le transistor uni-jonction.

3.2 Le transistor bipolaire

Le transistor bipolaire à jonction (BJT) est un dispositif construit autour de trois éléments semi-conducteurs dopés N ou P reliés par des connexions métalliques. Le transistor peut être PNP (conduction par trous) NPN (conduction par électrons) comme indiqué sur la figure 2.1, qui représente également le symbole de ces transistors.

3.3 Le transistor à effet de champ (JFET)

3.3.1 Architecture et symbole

La figure 3.1 présente l'architecture physique et le symbole du JFET. La conduction électrique correspond au passage des porteurs de charges de la source (S) vers le drain (D) au travers du canal constitué entre les deux éléments de la grille (G).

Le transistor à effet de champ peut être à canal N (conduction par électrons) ou à canal P (conduction par trous). Les résultats obtenus pour le JFET à canal N s'appliquent au JFET à canal P en changeant les signes des courants et des tensions [3].

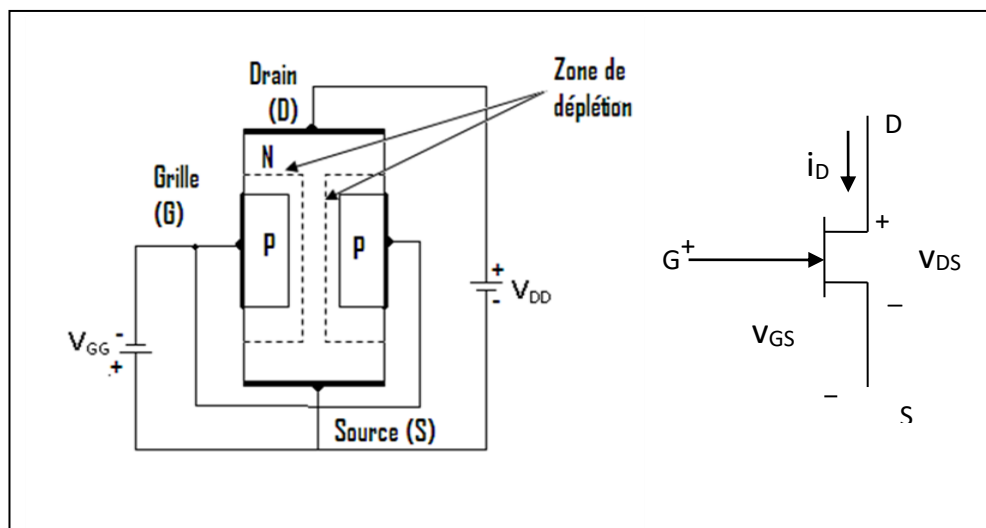


Figure 3.1 : Transistor JFET à canal N.

3.3.2 Caractéristiques du transistor JFET

Le transistor à effet de champ à jonction est la plupart du temps utilisé dans le montage quadripolaire source commune (figure 3.1) où V_{GG} polarise en inverse la jonction PN

grille source. Le courant de fuite au niveau de la grille est en général négligeable au regard de la plupart des applications (moins de $1\mu\text{A}$) ce qui nous amène à considérer la grille comme un circuit ouvert. Par conséquent, il n'est nécessaire d'étudier les courbes caractéristiques d'entrée.

La figure 3.2 présente les caractéristiques de drain (de sortie) pour un JFET canal N dans sa configuration source commune avec $V_{GS} \leq 0$. Lorsque la tension V_{DS} croît, pour une valeur donnée de V_{GS} , le transistor se comporte comme une résistance linéaire dans la région dite ohmique jusqu'à ce que la zone de déplétion de la jonction PN grille source polarisée en sens inverse s'étend à toute la largeur du canal (ce phénomène est appelé pincement du canal). Au-delà du pincement mais en restant en dessous des conditions d'apparition du phénomène d'avalanche, le courant de drain I_D reste pratiquement constant lorsque V_{DS} continue à croître.

Les paramètres I_{DSS} et V_{P0} sont des spécifications du transistor et sont représentés sur le graphe de la figure 3.2. En général V_{P0} (tension de pincement pour $V_{GS} = 0$) se situe entre 4 et 5 V. Plus la tension de grille diminue, plus la tension de pincement V_P (c'est-à-dire la tension drain source pour laquelle se produit le pincement du canal) diminue, selon la loi approximative [3] :

$$V_P = V_{P0} + V_{GS} \quad (3.1)$$

Le tableau 3.1 présente les analogies entre le JFET et le transistor bipolaire à jonction.

Transistor JFET	Transistor bipolaire
Source S	Emetteur E
Drain D	Collecteur C
Grille G	Base B
Alimentation de drain V_{DD}	Alimentation de collecteur V_{CC}
Alimentation de grille V_{GG}	Alimentation de base V_{BB}
Courant de drain I_D	Courant de collecteur I_C

Tableau 3.1 : Comparaison entre le transistor JFET et BJT.

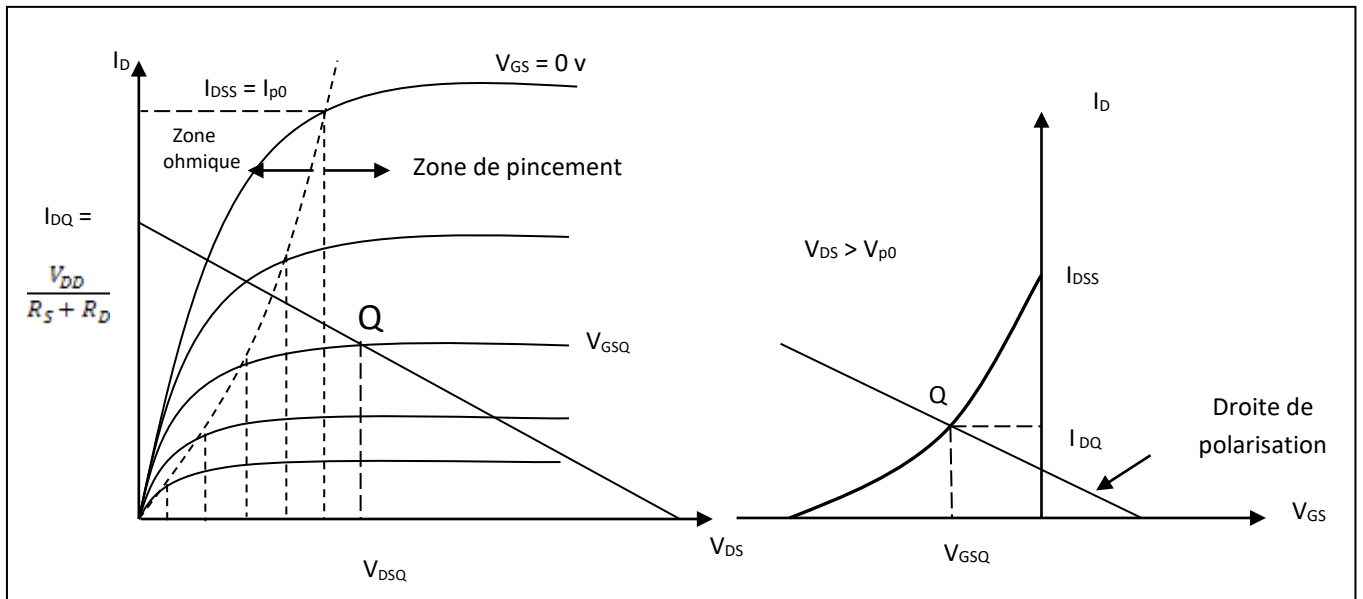


Figure 3.2 : Caractéristique source commune du transistor JFET canal N.

Le courant de drain évolue selon une loi quadratique en fonction de la tension grille source pour des valeurs constantes de V_{DS} dans la zone de pincement :

$$I_D = I_{DSS} (1 + V_{GS}/V_{P0})^2 \quad (3.2)$$

Cette loi rend compte de l'espacement vertical irrégulier entre les courbes caractéristiques de la figure 3.2. La figure 3.2 correspond à la représentation graphique de la relation 3.2. Elle constitue la caractéristique de transfert et est très utile pour déterminer la polarisation du transistor à effet de champ. La caractéristique de transfert correspond également aux intersections entre les caractéristiques de drain et une ligne verticale fixe d'équation :

$V_{DS} = C^{te}$. En formulant l'hypothèse que les caractéristiques de drain sont pratiquement horizontales dans la zone de pincement, il n'existe qu'une seule et même caractéristiques de transfert pour toute tension $V_{DS} > V_{P0}$ [3].

3.4 Le transistor MOSFET

3.4.1 Architecture et symbole du transistor MOSFET

Le transistor MOSFET à canal N de la figure 3.3 possède une zone dopée P unique appelée substrat, dont l'un des côtés agit comme un canal conducteur. Une grille métallique est appliquée au canal conducteur par l'intermédiaire d'un oxyde métallique isolant (en général de l'oxyde de silicium SiO_2) d'où le nom de transistor FET à grille isolée. Le MOSFET canal P est construit sur le même principe en inversant les zones P et N et en considérant des courants et des tensions de signes opposés à ceux du MOSFET canal N [3].

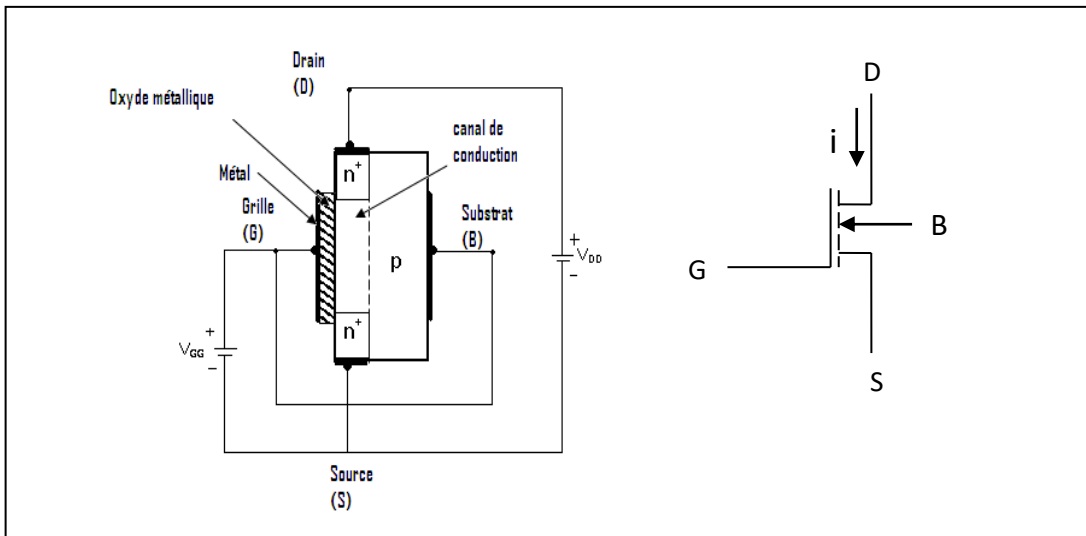


Figure 3.3 : Architecture et symbole du transistor MOSFET.

3.4.2 Caractéristique du transistor MOSFET

Dans un transistor MOS à canal N, la grille (armature positive), le film d'oxyde métallique (diélectrique) et le substrat (armature négative) forment un condensateur dont le champ électrique interne contrôle la résistance du canal. Lorsque le potentiel positif de la grille atteint une tension seuil V_T (en général de l'ordre de 2 à 4 V), une quantité suffisante d'électrons est attirée vers la région située juste derrière le film d'oxyde métallique et transforment le canal en conducteur de faible résistance (ce mode de fonctionnement est appelé mode d'enrichissement). Si la tension drain source augmente, le canal se transforme en zone de déplétion au voisinage du drain et le phénomène de pincement apparait de manière analogue au JFET. La figure 3.4 présente les caractéristiques usuelles d'un MOSFET avec $V_T = 4$ V en l'occurrence. En général, les constructeurs précisent la valeur de V_T et une valeur de courant de pincement I_{Don} . La valeur correspondante de la tension grille source est V_{GSon} .

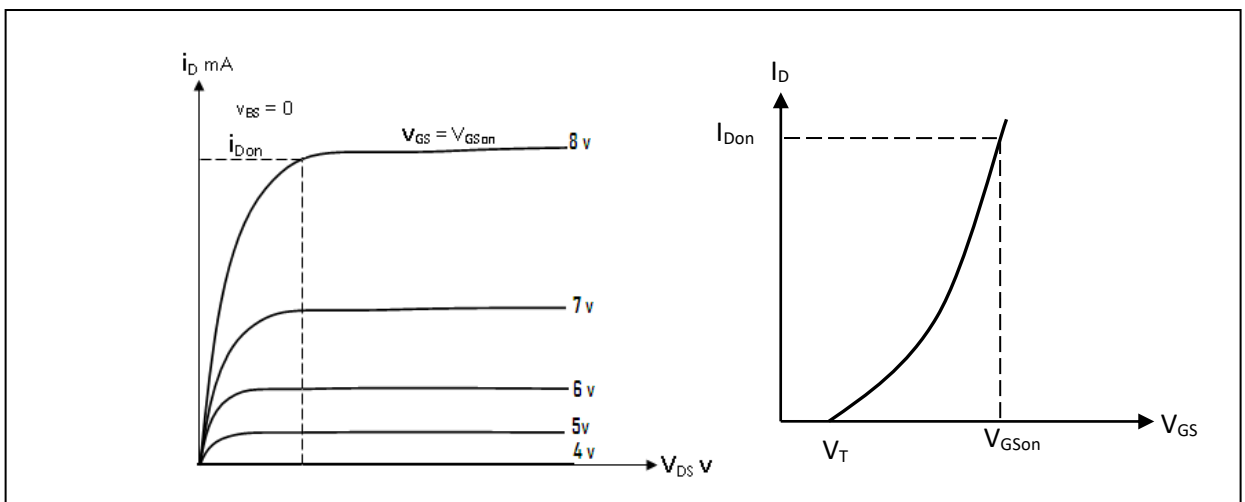


Figure 3.4 : Caractéristiques du transistor MOSFET

Le transistor MOS fonctionnant dans sa zone de pincement est décrit par les équations 3.1 et 3.2 en remplaçant V_{P0} et I_{DSS} respectivement par $-V_T$ et I_{Don} et en court-circuitant le substrat à la source [3].

On a:

$$I_D = I_{Don} (1 - V_{GS} / V_T)^2 \quad (3.3)$$

Avec : $V_{GS} \geq V_T$

3.5 Le transistor unijonction (UJT)

3.5.1 Architecture et symbole du transistor uni jonction

Bien qu'un transistor unijonction ne soit pas un thyristor, ce composant peut déclencher plus d'un thyristor avec une impulsion à la base B1. Un transistor uni jonction est composé d'une barre de silicium de type N ayant un type de connexion P au milieu. Voir la figure ci-dessous (a). Les connexions aux extrémités de la barre sont connus en tant que bases B1 et B2, le type P à mi-parcours est l'émetteur. Avec l'émetteur débranché, la résistance totale R_{BB0} est la somme de R_{B1} et R_{B2} comme le montre la figure ci-dessous (b). R_{BB0} varie de 4 à 12 k Ω pour différents types de composants. Le ratio impasse η intrinsèque est le rapport de R_{BB0} à R_{B1} . Il varie de 0,4 à 0,8 pour les différents composants.

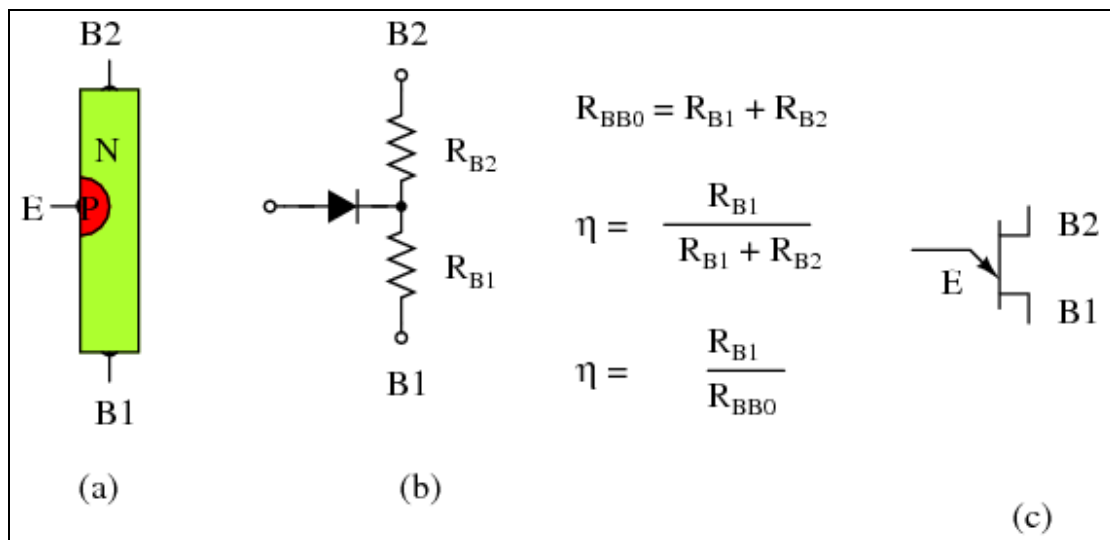


Figure 3.5 : Architecture et symbole du transistor uni jonction.

3.5.2 Caractéristique du transistor uni jonction

Les caractéristiques de l'UJT sont illustrées par le graphique de la tension émetteur en fonction du courant d'émetteur (Fig. 3.6).

Comme la tension d'émetteur est augmentée, le courant est très faible, seulement quelques micro-ampères. Lorsque le point culminant est atteint, le courant augmente rapidement, jusqu'à ce que le point de la vallée de l'appareil fonctionne en saturation. A ce point R_{B1} est à son plus faible valeur, qui est connu comme la résistance de saturation.

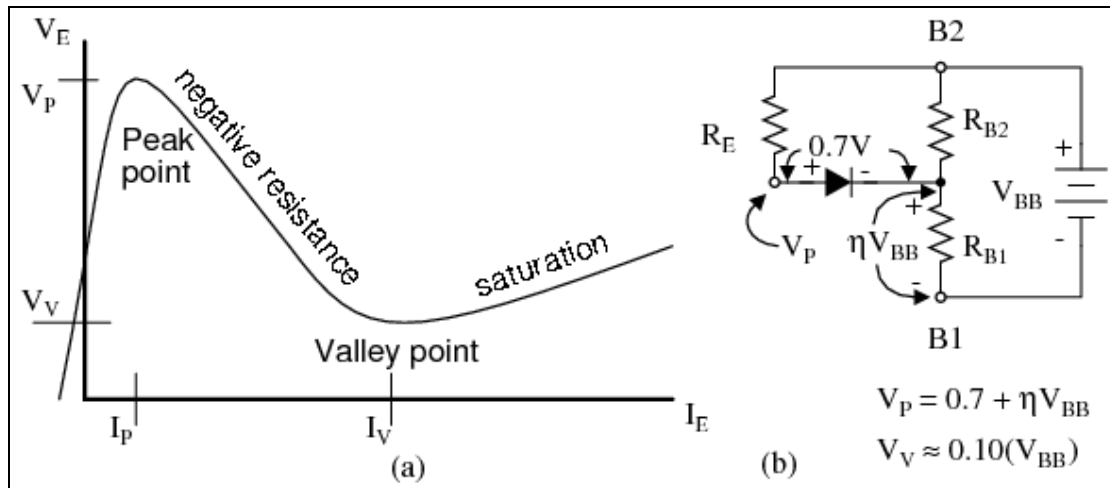


Figure 3.6 : Caractéristique du transistor uni jonction.

3.6 Conclusion

A partir de l'étude précédente, nous avons trouvé que les trois derniers types de transistors, ont presque le même mécanisme de fonctionnement, et les trois forment des zones de déplétion, qui commende le passage du courant. Ces transistors et le transistor BJT, en termes de courbe graphique, assume la même fonction, malgré les différences architecturale.

Finalement et après cette étude approfondie des transistors, nous proposons d'étudier l'une de ces applications, qu'est la Modulation AM. Alors, que va être le rôle du transistor dans cette technique ?

4.1 Introduction

La transmission d'un signal porteur d'information (signal informatif ou signal message) sur un canal de transmission défini par sa bande passante, comme une ligne téléphonique ou une liaison par satellite, utilise généralement un décalage des fréquences contenues dans le signal vers d'autres fréquences plus adaptées à la transmission. Ce déplacement de fréquences est obtenu par modulation. Les techniques de base de la modulation analogique sont la modulation par onde porteuse analogique et la modulation par impulsions codées (ou modulation par impulsions et codage). Dans le cas de la modulation par onde porteuse analogique, un signal sinusoïdal $A_P \cos(\omega_p t + \theta)$ est utilisé pour transporter l'information, d'où le nom d'onde porteuse.

Dans ce chapitre nous allons étudier le rôle du transistor dans la modulation, et nous choisissons comme exemple la modulation AM.

4.2 Raison de la modulation

La transmission d'un signal en bande de base n'est pas possible lorsque :

- Le canal de transmission ne laisse passer qu'une bande de fréquence limitée (le cas de la voie téléphonique ou des canaux radio).
- Pour augmenter la capacité du canal, Il faut le partager simultanément entre plusieurs utilisateurs (chacun a une porteuse propre).
- On explique pourquoi une antenne doit être au moins d'un quart de longueur d'onde. Exprimé en fonction de la fréquence, un quart de longueur d'onde est :

$$L = 7,5(10^7) / f \quad (4.1)$$

Où : L exprimé en mètre et f en hertz.

Si l'antenne est plus courte que cette longueur, elle ne rayonne pas les signaux efficacement.

Les antennes devraient être immenses aux audiofréquences. Ainsi, pour rayonner 1000 Hz correctement, il faudrait une antenne de :

$$L = 7,5(10^7) / 1000 = 75 \text{ Km}$$

C'est impossible de réaliser une antenne avec cette longueur. Mais augmenter la fréquence f (par exemple 100 MHz) [5].

$L = 7,5(10^7) / 10^7 = 0,75 \text{ m} = 75 \text{ cm}$, maintenant ça devient possible.

4.3 Définition de la modulation

La modulation peut être définie comme le processus par lequel le signal est transformé de sa forme originale en une forme adaptée au canal de transmission, par exemple en faisant varier les paramètres d'amplitude et d'argument (phase/fréquence) d'une onde sinusoïdale appelée porteuse.

Le dispositif qui effectue cette modulation, en général électronique, est un modulateur (voir modem). L'opération inverse permettant d'extraire le signal de la porteuse est la démodulation.

4.4 Types de modulation

En modulation analogique, la modulation est appliquée à la porteuse ou sous-porteuse proportionnellement au signal à transmettre, en modifiant l'amplitude ou l'argument de l'onde sinusoïdale.

4.4.1 La modulation d'amplitude

La modulation d'amplitude consiste à faire varier l'amplitude d'un signal de fréquence élevée en fonction d'un signal de basse fréquence. Ce dernier est celui qui contient l'information à transmettre (voix, par exemple, recueillie par un microphone), le premier étant le signal porteur (qu'on appelle porteuse).

$$S_{AM} = A_p m(t) \sin(w_p t + \varphi) \quad (4.2)$$

Avec :

$m(t)$: signal de message.

$A_p \sin(w_p t + \varphi)$: porteuse.

4.4.2 Modulation angulaire (ou d'argument)

Les modulations de fréquence et de phase modifient l'argument (ou angle) de l'onde sinusoïdale. L'onde résultante garde une amplitude constante, permettant d'utiliser des

amplificateurs non linéaires et diminuant l'influence des perturbations additives (bruit impulsions et interférences).

4.4.1.1 La modulation de fréquence (FM)

Permet de restituer la composante continue du signal, elle est utilisée en radiodiffusion haute fidélité (bande FM), en diffusion de télévision par satellite, et en transmission analogique d'images (radio facsimilé, SSTV).

$$S_{FM} = A_p \sin (w_p t + 2\pi k_f \int m(t)) \quad (4.3)$$

k_f : sensibilité en fréquence du modulateur.

4.4.1.2 La modulation de phase (PM)

Elle est utilisée en radiotéléphonie VHF et UHF. Une modulation de phase précédée d'un filtrage étant équivalente à une modulation de fréquence, c'est aussi une autre façon de moduler en fréquence en radiotéléphonie.

$$S_{AM} = A_p \sin (w_p t + k_p m(t)) \quad (4.4)$$

k_f : sensibilité en phase du modulateur.

4.5 Modulateur à transistor

Le circuit de la figure : 4.1 représente un modulateur à transistor. Son fonctionnement ? Le signal porteur v_x est appliqué à l'entrée d'un amplificateur à émetteur commun.

Le circuit amplifie la porteuse par un gain A de sorte que la sortie est $A v_x$. Le signal modulateur fait partie du réseau de polarisation ; il produit donc des variations basse fréquence du courant émetteur, ce qui amène des variations de r_e et A . c'est pourquoi la porteuse amplifiée ressemble à l'onde modulée représentée; les crêtes de sortie varient de façon sinusoïdale avec le signal modulateur. Autrement dit les enveloppes, supérieure et inférieure, ont la forme du signal modulateur [4].

$$r_e = 25 \text{ mV} / I_E \quad (4.5)$$

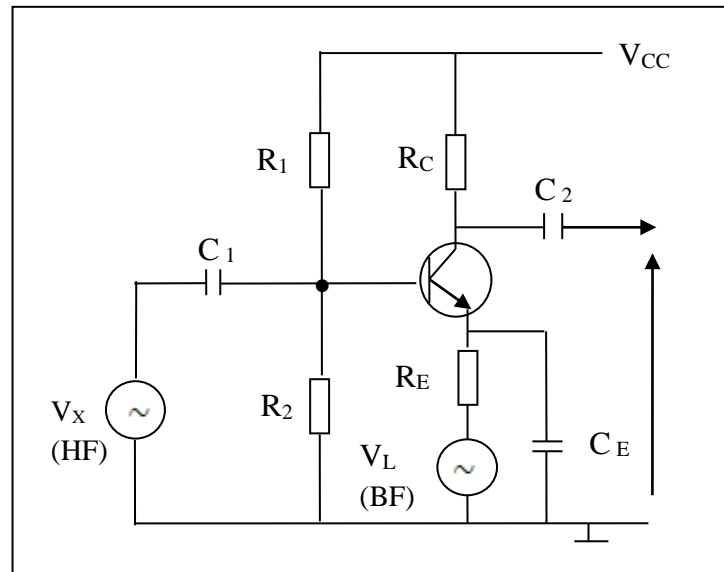


Figure 4.1 Modulateur AM à transistor bipolaire.

4.6 Résultats de calcul

On fixe $V_{cc} = 15 \text{ V}$, $I_c = 3 \text{ mA}$, $\beta = 100$.

Après le calcul des différentes résistances et condensateurs nous obtenons les résultats suivants :

Valeurs calculées	Valeurs normalisées
$R_1 = 40 \cdot 10^3 \Omega$	$R_1 = 47 \text{ K}\Omega$
$R_2 = 460 \cdot 10^3 \Omega$	$R_2 = 470 \text{ K}\Omega$
$R_C = 2.61 \cdot 10^3 \Omega$	$R_C = 2.2 \text{ K}\Omega$
$R_E = 0.166 \cdot 10^3 \Omega$	$R_E = 100 \Omega$
$C_1 = 10 \mu\text{f}$	$C_1 = 10 \mu\text{f}$
$C_2 = 10 \mu\text{f}$	$C_2 = 10 \mu\text{f}$
$C_E = 100 \mu\text{f}$	$C_E = 100 \mu\text{f}$

Tableau 4.1 : Résultats de calcul.

Conclusion générale

L'émission d'un signal basse fréquence (moins de 20 KHz) dans l'espace libre n'est pas possible. Alors, il est nécessaire que ce signal doive être porté pour qu'il soit possible de le transmettre. Le circuit responsable de cette opération s'appelle modulateur.

Le circuit de modulation étudié est réalisé avec un transistor bipolaire, et la technique de modulation utilisée est la modulation d'amplitude.

Le circuit de modulation étudié est testé par simulation et a donné de bons résultats, c.à.d. qu'il a donné une bonne modulation d'amplitude.

Références Bibliographiques

[1].BENAYAD. A, GUENDOUZ. D : « *Électronique générale 'cours et exercices résolus'* », Office des Publication Universitaire, 2^{ème} édition, 5-**2007**.

[2]. THOMAS L. FLOYED : « *Électronique composant et système d'application* », raynaldgoulet inc, 5^{ème} édition, **2005**.

[3].JIMMIE J. CATHEY : « *Circuits et systèmes électronique* », Mcgraw-Hill Companies, 2^{ème} édition, **2003**.

[4].ALBERT PAUL MALVINO : « *Principe d'électronique* », Mcgraw-Hill, **1978**.

Résumé

Les télécommunications est un domaine très vaste, où la modulation constitue un des éléments principaux. On a plusieurs types de cette technique, par exemple la modulation AM, FM, PM, PWM, ...etc., La modulation AM est fondamentale pour l'émission radio fréquence, la télévision et les communications téléphoniques.

Dans ce mémoire on a étudié seulement la modulation en amplitude AM, qui est la variation de l'amplitude d'un signal haute fréquence (HF) en fonction d'autre signal basse fréquence (BF), le signal basse fréquence représente l'information qui va être transmis et le signal haute fréquence s'appelle la porteuse.

Dans ce travail on a utilisé le transistor bipolaire pour simuler un circuit de modulation AM. Le signal d'entrée est un signal HF (porteuse), nous injectons dans l'émetteur un signal BF qui constitue l'information. Le signal au niveaux de la sortie est le signal porteuse avec une amplitude variant sinusoïdalement, et sa variation c'est la forme de signal message.

Le circuit étudié théoriquement à été simulé et a donné de bon résultat c.à.d. un signal modulé en amplitude.