

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE MOULOUD MAMMARI DE TIZI-OUZOU



FACULTE DE GENIE ELECTRIQUE ET D'INFORMATIQUE
DEPARTEMENT D'ELECTROTECHNIQUE

Mémoire de Fin d'Etudes de MASTER PROFESSIONNEL

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Génie Electrique

Spécialité : **Electrotechnique industrielle**

Présenté par
Anis Rahim
Sofiane Yekkour

Thème

Etude et essai réalisation d'une alimentation sinusoïdale variable en fréquence et en tension

Mémoire soutenu publiquement le 21 /07/2016 devant le jury composé de :

M Mohammed Megherbi
Professeur, UMMTO, Président

Melle Rahma Kachenoura
MCB, UMMTO, Encadreur

Mr Madjid Si-brahim
MAB, UMMTO, Examineur

Mr Meziane Aoues
MAA, UMMTO, Examineur

Remerciements

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude envers notre encadreur : M^{me} R.KACHENOURA de nous avoir orienté, conseillé, rassuré pendant le travail, pour le temps qu'elle nous a consacré.

Nous remercions les membres du jury d'avoir répondu présent à l'évaluation de ce modeste travail de fin d'études.

Nos remerciements s'adressent aussi à Mr CHALLAL pour ses orientations, ainsi l'établissement TIZI-TRONICS.

*Il m'est difficile d'exprimer tout ce que je dois à ma famille. Je
Pense particulièrement à mon Père et ma Mère pour l'incalculable
Soutien moral et logistique et les nombreux encouragements
Que j'ai toujours reçus de leur part.*

DÉDICACES

*JE DÉDIE CE MODESTE TRAVAIL À MES PARENTS,
MES DEUX SŒURS LYDIA ET MANEL, MON BEAU-FRÈRE
RACHID, MES DEUX PETIT NEVÉUX ANIS ET AKSEL.*

À LA PERSONNE LA PLUS CHER DANS MA VIE LISA.

ANIS

Liste des figures

Figure 1.1 : Les deux structures (NPN, PNP) du transistor bipolaire.....	4
Figure 1.2 : Polarisation directe-inverse d'un transistor bipolaire.....	5
Figure 1.3 : fonctionnement du transistor bipolaire sous polarisation directe-inverse.....	5
Figure 1.4 : Courants et tensions du transistor bipolaire.....	6
Figure 1.5 : courbe caractéristique du collecteur.....	9
Figure 1.6 : famille de courbes I_C en fonction de V_{CE} pour différentes valeurs de I_B	10
Figure 1.7 : circuit amplificateur à transistor de base.....	11
Figure 1.8 : circuit équivalent de l'amplificateur.....	11
Figure 1.9 : polarisation correcte et incorrecte d'un amplificateur inverseur.....	12
Figure 1.10 : illustration de la droite de charge et le point opérationnel.....	13
Figure 1.11 : Intérêt de l'amplification.....	15
Figure 1.12 : répartitions des puissances dans un amplificateur.....	16
Figure 1.13 : fonctionnement en classe A.....	17
Figure 1.14 : droite de charge et point de fonctionnement en classe A.....	18
Figure 1.15 : montage de base d'un amplificateur classe A.....	18
Figure 1.16 : schéma de base d'un amplificateur classe B.....	20
Figure 1.17 : illustration du fonctionnement en classe B.....	21
Figure 1.18 : Illustration de la distorsion de croisement.....	21
Figure 1.19 : structure de base d'un amplificateur classe AB push-pull.....	22
Figure 1.20 : caractéristique de transfert d'un amplificateur classe AB push-pull.....	23
Figure 2.1 : le circuit amplificateur.....	26
Figure 3.1 : schéma de simulation (Isis proteus).....	31
Figure 3.2 : les résultats de simulation (tension de sortie et tension d'entrée).....	34
Figure 3.3 : structure de l'étage amplificateur en tension.....	41
Figure 3.4 : le filtre d'entrée.....	43
Figure 3.5 : résultats de simulation (tension d'entrée et la tension de sortie).....	46
Figure 4.1 : plaque du circuit imprimé.....	50
Figure 4.2 : Impression du masque.....	51
Figure : 4.3 L'insolation et la révélation.....	52

Figure 4.4 : La gravure.....	53
Figure 4.5 : L'étamage.....	54
Figure 4.6 : Le perçage.....	55
Figure 4.7 : Implantation des composants et soudage	57

Liste des tableaux

Tableau 3.1: cahier des charges.....	29
Tableau 3.2 : Nouveau cahier des charges.....	38
Tableau 3.3 : paramètres contraignants des transistors de l'étage de sortie.....	39
Tableau 3.4: paramètres contraignants des transistors Q3 et Q4.....	40
Tableau 3.5: paramètres contraignants des transistors Q3 et Q4.....	42

Sommaire

INTRODUCTION GENERALE

1. Problématique générale.....	1
2. Problématique spécifique.....	1
3. Hypothèses.....	1
4. Méthodologie d'enchaînement des différents chapitres.....	1

CHAPITRE 1 : Généralités sur les amplificateurs de puissance

1.1.Introduction.....	3
1.2. Les transistors bipolaires.....	4
1.3. Caractéristiques et paramètres du transistor bipolaire.....	6
1.4. Le Transistor comme amplificateur.....	10
1.5. Polarisation du transistor bipolaire.....	12
1.6.Les amplificateurs de puissances.....	14
1.7.Les classes de fonctionnement des amplificateurs de puissances.....	17
1.8.Conclusion.....	24

CHAPITRE 2 : Présentation du circuit amplificateur

2.1.Introduction.....	25
2.2.Le circuit amplificateur.....	25
2.3.Définition des étages de l'amplificateur.....	27
2.4.Conclusion.....	28

CHAPITRE 3 : Calculs, redimensionnement et simulation du circuit amplificateur

3.1. Introduction.....	29
3.2. Cahier des charges.....	29
3.3. Simulation du circuit amplificateur.....	30
3.4. Calcul analytique des paramètres du circuit.....	32
3.5. Les résultats de simulation.....	33
3.6. Adaptation du circuit amplificateur au cahier des charges fournie.....	35
3.7. Adaptation du circuit amplificateur a la nouvelle tension d'alimentation.....	37
3.8. Simulation du circuit amplificateur avec les nouveaux paramètres	44
3.9. Conclusion.....	47

CHAPITRE 4 : Réalisation du circuit amplificateur

4.1. Introduction.....	49
4.2. Réalisation de la maquette.....	49
4.3. Les étapes de réalisation de la maquette.....	50
4.4. Test des pistes de circuit imprimé.....	55
4.5. Le perçage.....	55
4.6. Implantation des composants et soudage.....	56
4.7. Paramètres électriques du circuit réalisé.....	58
4.8. Conclusion.....	58

CONCLUSION GENERALE.....	59
---------------------------------	-----------

BIBLIOGRAPHIE.....	61
---------------------------	-----------

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale

Le présent travail aborde de manière concise et simplifiée l'un des volets de l'électronique, une discipline voisine de l'électrotechnique.

Ce mémoire ce veut d'expliquer le principe de calcul et de dimensionnement, d'un circuit amplificateur a plusieurs étages, en utilisant des transistors bipolaires.

L'idée d'un amplificateur émanait d'une première volonté, de l'intégrer dans la réalisation d'une alimentation sinusoïdale, variable en tension et en fréquence. Les investigations, nous permettent de se rendre compte de la difficulté à laquelle nous sommes confrontés, en raison du temps et des moyens manquants. Nous nous satisfaisant alors à la partie la plus importante qui est l'amplificateur.

Pour se faire nous tentons de répondre aux problématiques générales suivantes :

1. Problématique générale

- ✓ Comment s'effectue la commande en électronique.

2. Problématique spécifique

- ✓ Comment pouvons-nous avoir, à partir d'un faible signal, un autre signal de même forme mais amplifier.

Chaque problématique d'étude nous amène a proposé des solutions anticiper, qui constitue pour nous des hypothèses à confirmer ou à infirmer.

3. Hypothèses

- ✓ Nous pouvons réaliser une alimentation sinusoïdale variable en tension et en fréquence.
- ✓ Notre système nous permet d'entrer avec une tension sinusoïdale, de faible amplitude et de fréquence déterminée et de sortir avec une tension sinusoïdale d'amplitude élevée, de même fréquence.

Dans tous les cas notre objectif est :

- ✓ Avoir à partir d'un signal d'entrer de faible amplitude, un signal de sortie variable qui est multiple de l'entrer.

4. Méthodologie d'enchaînement des différents chapitres

Le mémoire traite de l'étude et de la réalisation, d'une alimentation sinusoïdale. Pour se faire il se propose de structurer comme suit :

Introduction générale

- ✓ Un premier chapitre qui traite des généralités sur l'utilisation des transistors bipolaire en amplification. Il nous permet d'acquérir des notions sur le principe de fonctionnement amplificateur des transistors bipolaire. Il présente aussi les amplificateurs de puissance à savoir, l'amplificateur classe A, l'amplificateur classe B et l'amplificateur classe AB.
- ✓ Le deuxième chapitre concerne la présentation du circuit amplificateur, présentation d'un bref aperçu des éléments constitutifs du circuit.
- ✓ Le troisième chapitre quant à lui se focalise sur le calcul et le dimensionnement du circuit amplificateur.
- ✓ Enfin le quatrième chapitre se propose d'expliquer, la dernière étape du projet, qui est réalisation du circuit imprimé de l'amplificateur.

CHAPITRE

1

Chapitre 1: Généralités sur les amplificateurs de puissance

1.1. Introduction

Les amplificateurs de puissances nous permettent d'amplifier un faible signal d'entrer tout en gardant sa forme, puis le transiter vers la charge (haut-parleur, moteur, résistance...), généralement ils se situent au dernier étage d'une chaîne amplificatrice, c'est l'étage de l'amplification en courant.

Les transistors constituant les amplificateurs se comportent soit comme une source de courant, soit comme un interrupteur. Les classes de fonctionnement des amplificateurs sont réparties en deux catégories de classement, suivant le mode d'opération du transistor :

- Les classes sinusoïdales : le transistor se comporte comme une source de courant, la puissance de sortie est proportionnelle à la puissance d'entrée ; cette catégorie comprend les classes A, B, AB et C, qui seront l'objet d'étude dans ce chapitre.
- Les classes à haut rendement : le transistor se comporte comme un interrupteur, la puissance de sortie n'est pas une fonction linéaire de la puissance d'entrer, cette catégorie comprend les classes D, E et F.

La finalité des amplificateurs est la commande d'un actionneur (haut-parleur, moteur, inductance, résistance... etc.) sans déformation du signal amplifié. Dans la plupart des cas, l'amplification en puissance est une amplification en courant. C'est pourquoi nous utilisons des transistors bipolaires, ou des transistors MOS de puissance.

Dans ce chapitre nous allons aborder quelques notions théoriques sur le fonctionnement des transistors bipolaires (NPN, PNP) et les amplificateurs classe (A, B et AB).

1.2. Les transistors bipolaires

C'est un composant semi-conducteur constitué de deux « jonction PN »¹, formant trois régions NPN ou PNP, ces trois régions sont appelées émetteur, base et collecteur.

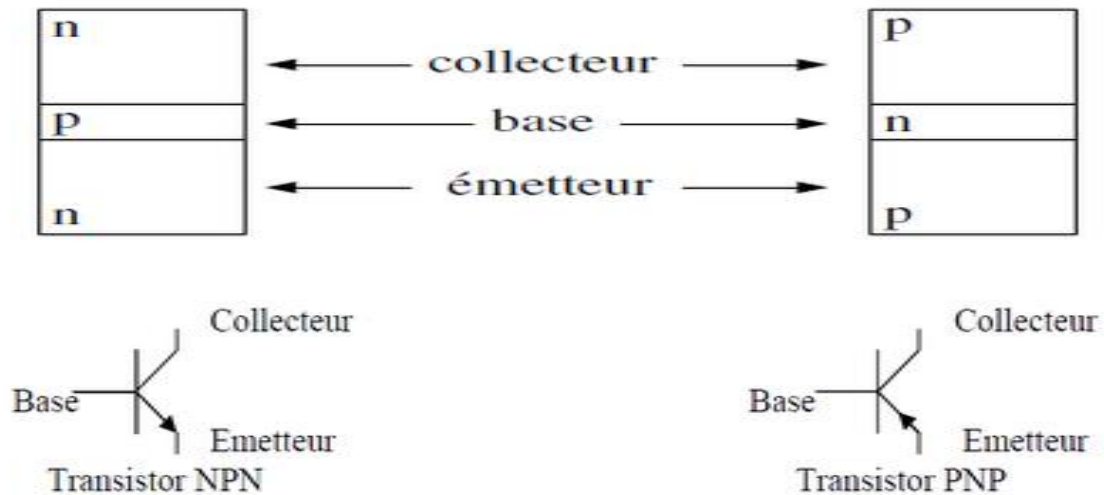


Figure 1.1 : Les deux structures (NPN, PNP) du transistor bipolaire.

Source : Thomas L. Floyd. Electronique ; Composants et systèmes d'application.

Le transistor bipolaire est formé trois couches alternées qui sont rongées soit en N, P et N, qui désigne le type NPN, soit en P, N et P, qui désigne le type PNP. La couche médiane est la base, les deux couches externes sont l'émetteur et le collecteur.

1.2.1. Fonctionnement de base du transistor bipolaire

Nous utiliserons un transistor type NPN, le fonctionnement de type PNP est le même que celui de type NPN à la réserve d'inverser les polarités des tensions, les directions des courants et même les fonctions des électrons et des trous.

1.2.2. Polarisation directe inverse du transistor bipolaire

Le fonctionnement du transistor bipolaire comme amplificateur exige la polarisation des deux jonctions PN par des tensions externes.¹

La figure 1.2 illustre la polarisation directe inverse des transistors NPN et PNP pour une configuration d'amplificateur

¹ Frontière entre les matériaux a semi-conducteur de type N et de type P.

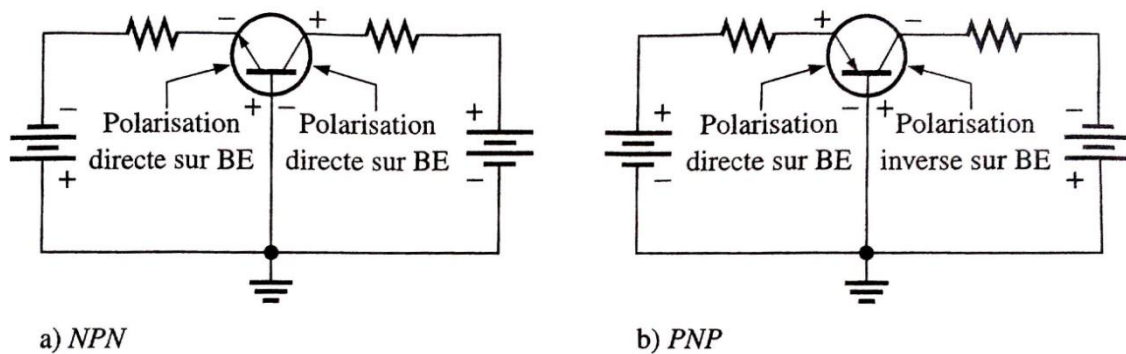


Figure 1.2 : Polarisation directe-inverse d'un transistor bipolaire.

Source : Thomas L. Floyd. Electronique ; Composants et systèmes d'application

Comme le montre la figure 1.2 la polarisation directe inverse consiste à mettre la jonction base émetteur sous polarisation direct, cependant la jonction base collecteur est sous polarisation inverse

1.2.3. Illustration du fonctionnement

Nous allons examiner ce qui se produit à l'intérieur d'un transistor type NPN sous polarisation directe-inverse, pour cela considérons la figure 1.3.

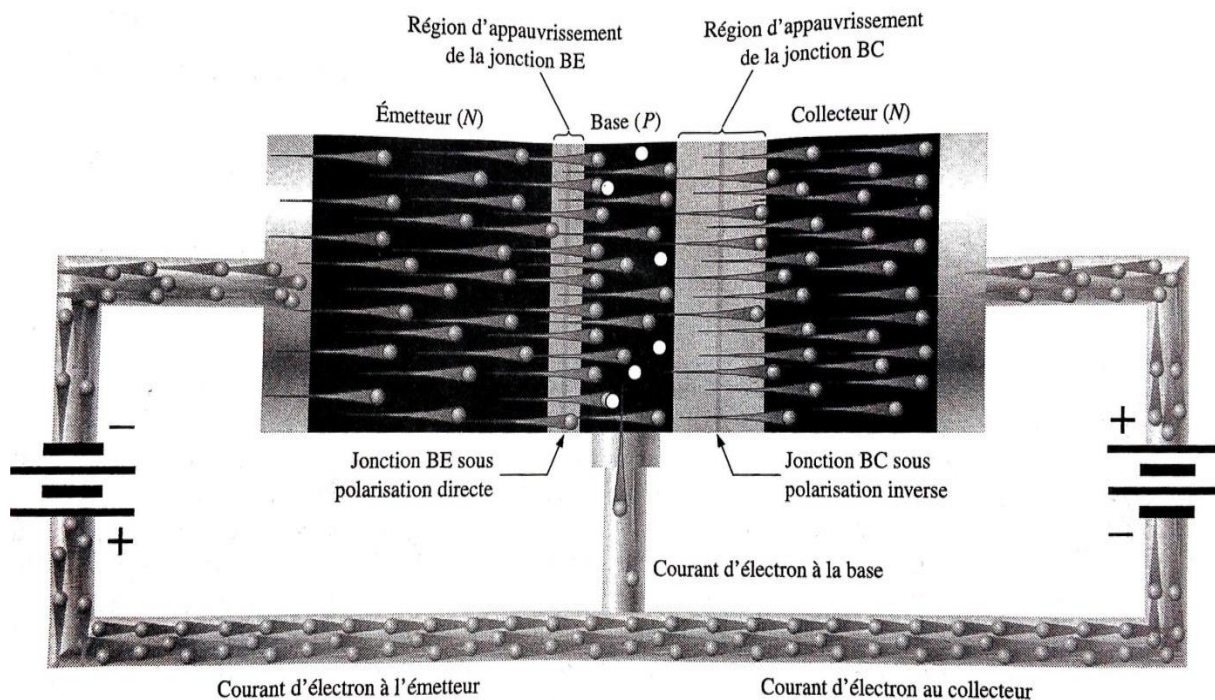


Figure 1.3 : fonctionnement du transistor bipolaire sous polarisation directe-inverse.

Source : Thomas L. Floyd. Electronique ; Composants et systèmes d'application.

Chapitre 1: Généralités sur les amplificateurs de puissance

- La polarisation directe de la jonction base-émetteur, rétrécit la région d'appauvrissement BE.
- La polarisation inverse de la jonction base-collecteur élargit la région d'appauvrissement² BC.
- L'émetteur (région N fortement dopée) devient plus riche en électrons, ces derniers se déplacent à travers la jonction BE sous la polarisation directe, jusqu'à la région P la base ou ils deviennent porteurs minoritaires³.
- La base (région P) faiblement dopée possède un nombre limité de trous, ce qui limite le nombre des combinaisons électrons-trous⁴, les électrons recombinés circulent par le conducteur hors de la base comme des électrons de valences constituant le courant de base.
- La plupart des électrons qui ne recombine pas, se diffusent vers la région d'appauvrissement BC, ils sont tirés vers la région de collecteur à travers la jonction BC, sous l'effet du champ électrique créée par la force d'attraction entre les ions positifs et négatifs. Le déplacement des électrons vers le collecteur traversant son fil conducteur vers la borne positive de la source de tension crée le courant du collecteur.

1.3. Caractéristiques et paramètres du transistor bipolaire

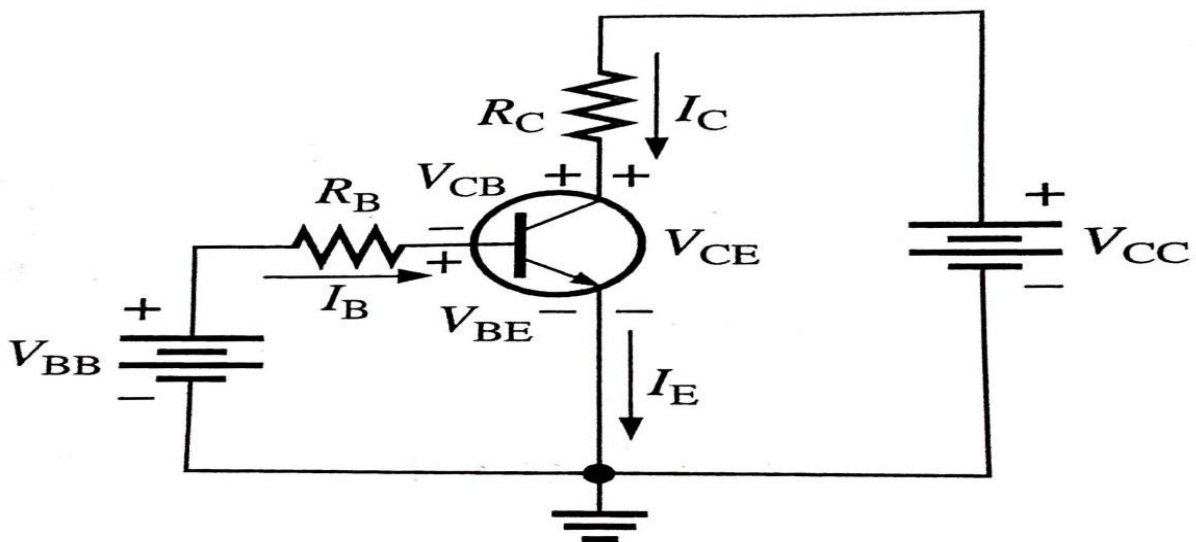


Figure 1.4 : Courants et tensions du transistor bipolaire.

Source : Thomas L. Floyd. Electronique ; Composants et systèmes d'application.

² Procédé de retirer ou d'appauvrir le canal des porteurs de charge, ainsi diminuer la conductibilité du canal.

³ Dans un matériau semi-conducteur dopé, le porteur de courant en faible quantité (électrons ou trous).

⁴ Absence d'électron dans la bande de valence (externe) d'un atome.

Chapitre 1: Généralités sur les amplificateurs de puissance

La figure 4.1 nous permet de déterminer concisément les paramètres et les caractéristiques du transistor bipolaire.

1.3.1. Le gain β et α

- Le gain beta β est le rapport du courant au collecteur I_C le courant de la base I_B

$$\beta = \frac{I_C}{I_B} \quad (1.1)$$

Sur les fiches techniques (datasheet) β est désigné par le paramètre h_{FE} .

- Le gain α rapport entre le courant au collecteur I_C et le courant à l'émetteur I_E

$$\alpha = \frac{I_C}{I_E} \quad (1.2)$$

1.3.2. Relation entre β et α

Partant de la formule suivante :

$$I_E = I_C + I_B.$$

En divisant chaque courant par I_C nous aurons

$$\frac{I_E}{I_C} = 1 + \frac{I_B}{I_C}$$

Donc $\frac{1}{\alpha} = 1 + \frac{1}{\beta}$, après simplification nous obtenons :

$$\beta = \frac{\alpha}{1-\alpha} \quad (1.3)$$

1.3.3. Analyse des courants et des tensions

A partir de la figure 1.4 nous identifions trois courants et trois tensions du transistor, qui sont :

- I_B : courant à la base.
- I_E : courant à l'émetteur.
- I_C : courant au collecteur
- V_{BE} : tension de base par rapport à l'émetteur.
- V_{CB} : tension du collecteur par rapport à la base
- V_{CE} : tension du collecteur par rapport à l'émetteur

Dans la plupart des cas la tension $V_{BE}=0,7V$.

Chapitre 1: Généralités sur les amplificateurs de puissance

1.3.3.1. Détermination des courants I_B , I_C , I_E

Parti de la figure 4.1, l'émetteur est à la masse, l'application de la loi de Kirchhoff nous donne :

$$V_{RB} = V_{BB} - V_{BE}$$

$$V_{RB} = R_B \times I_B$$

$$I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B} \quad (1.4)$$

$$I_C = \beta \times I_B$$

$$I_C = \beta \times \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B} \quad (1.5)$$

$$I_E = I_C + I_B = \frac{I_C}{\alpha}$$

$$I_E = \frac{\beta}{\alpha} \times \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B} \quad (1.6)$$

1.3.3.2. Détermination des tensions V_{BE} , V_{CE} et V_{CB}

Il s'agit des tensions des différentes jonctions qui constituent le transistor :

$$\text{Jonction base-émetteur} \quad V_{BE} = 0,7V \quad (1.7)$$

$$\text{Jonction collecteur-émetteur} \quad V_{CE} = V_{CC} - R_C \times I_C \quad (1.8)$$

$$\text{Jonction collecteur-base} \quad V_{CB} = V_{CE} - V_{BE} \quad (1.9)$$

1.3.4. Courbe caractéristique du collecteur

La figure ci-dessous permet de montrer la relation existante entre la tension V_{CE} , le courant I_C et le courant I_B , elle nous permet aussi d'illustrer les différents régimes de fonctionnement d'un transistor bipolaire.

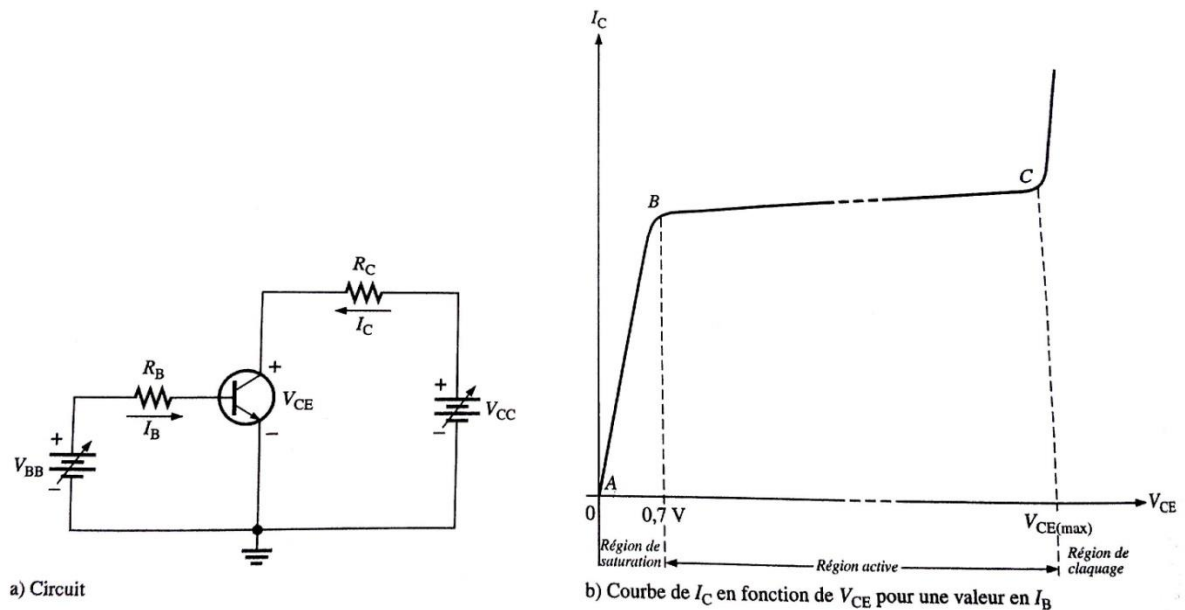


Figure 1.5 : courbe caractéristique du collecteur.

Source : Thomas L. Floyd. Electronique ; Composants et systèmes d'application.

D'après la courbe de la figure 1.5, nous distinguons trois régions de fonctionnement qui sont la région de saturation, la région active et la région de claquage.

1.3.4.1. Région de saturation

Dans cette région définie par la portion AB, la jonction base émetteur et la jonction base collecteur sont en polarisation direct, V_{CE} demeure inférieur a $0.7V$, pour une valeur constante du courant de base I_B , le courant au collecteur I_C augmente rapidement à mesure d'augmenter V_{CC} .

1.3.4.2. Région active

Dans cette région définie par la portion BC, la tension V_{CE} excède $0.7V$, la jonction base collecteur est polariser en inverse ainsi le transistor passe à sa région opérationnelle active ou linéaire. Nous constatons une augmentation très légère de I_C cependant V_{CE} augmente jusqu'à sa valeur limite V_{CEmax} , la valeur de I_C est déterminer par la relation $I_C = \beta \times I_B$.

1.3.4.3. Région de claquage

Lorsque V_{CE} est supérieur à V_{CEmax} , le courant I_C augmente rapidement tel qu'illustrer sur la courbe portion CD, c'est la région de claquage.

1.3.4.4. Courbes caractéristiques du collecteur en utilisant plusieurs valeurs de « I_B »

Nous obtenons des courbes additionnelles de I_C en fonction de V_{CE} tel qu'illustrer sur la figure 1.6.

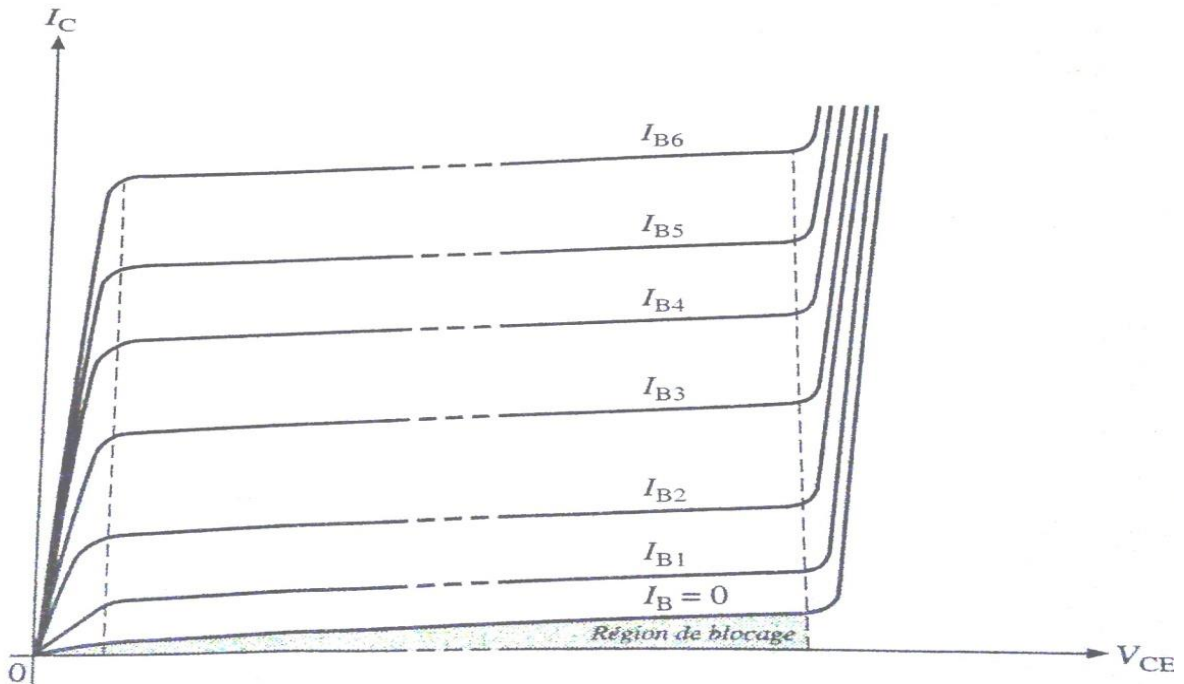


Figure 1.6 : famille de courbes I_C en fonction de V_{CE} pour différentes valeurs de I_B
Source : Thomas L. Floyd. Electronique ; Composants et systèmes d'application.

D'après la figure 1.6 lorsque $I_B=0$, le transistor fonctionne dans la région de blocage, il existe un infime courant de fuite au collecteur I_{CE0} , dans cette région les jonctions base-émetteur et base-collecteur sont en polarisation inverse.

1.4. Le Transistor comme amplificateur

L'amplification est l'une des plus importantes propriétés du transistor bipolaire, c'est le procédé par lequel l'amplitude d'un signal électrique est augmentée de façon linéaire ; Pour illustrer et définir les paramètres du transistor en amplification considérons le circuit amplificateur à transistor de la figure 1.7.

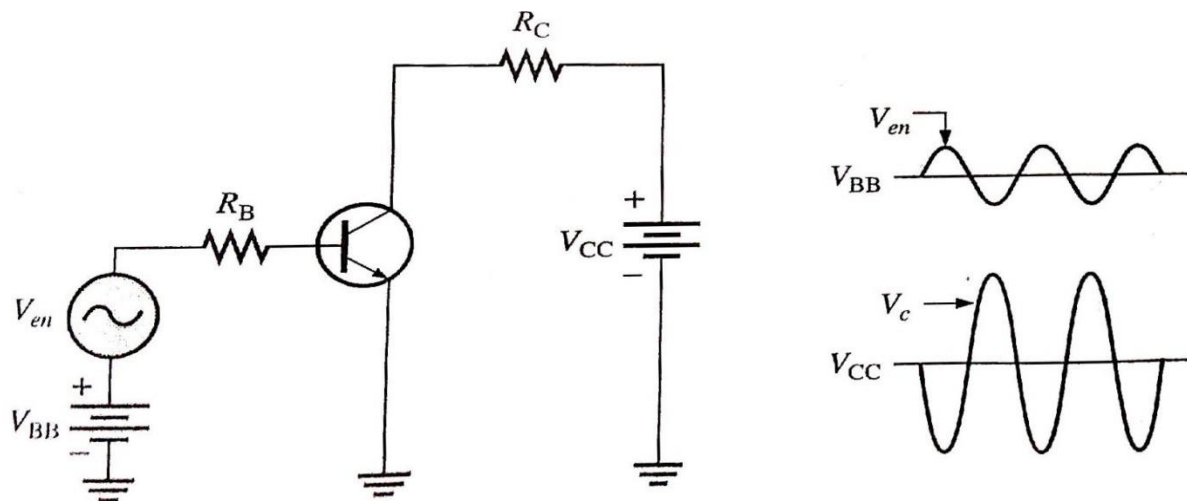


Figure 1.7 : circuit amplificateur à transistor de base.

Source : Thomas L. Floyd. Electronique ; Composants et systèmes d'application.

Le transistor bipolaire amplifie le courant puisque $I_C = \beta \times I_B$, le courant à la base est infime par rapport aux courants de collecteur et de l'émetteur. En négligeant le courant I_B , Nous obtenons $I_E = I_C$.

La tension d'entrée sinusoïdale V_{en} produit un courant sinusoïdale I_{en} à la base, ce qui provoque une augmentation importante en courant sinusoïdale au niveau du collecteur, ce dernier provoque une tension V_C aux bornes de R_C qui est une amplification de la tension d'entrée V_{en} mais inversée, comme le montre la figure 1.7.

1.4.1. Gain en tension A_v

Revenant à la figure 1.7, les sources de polarisations V_{BB} et V_{CC} se comporte comme des court-circuit par rapport à la tension d'entrée V_{en} , nous considérons le circuit équivalent de la figure 1.8.

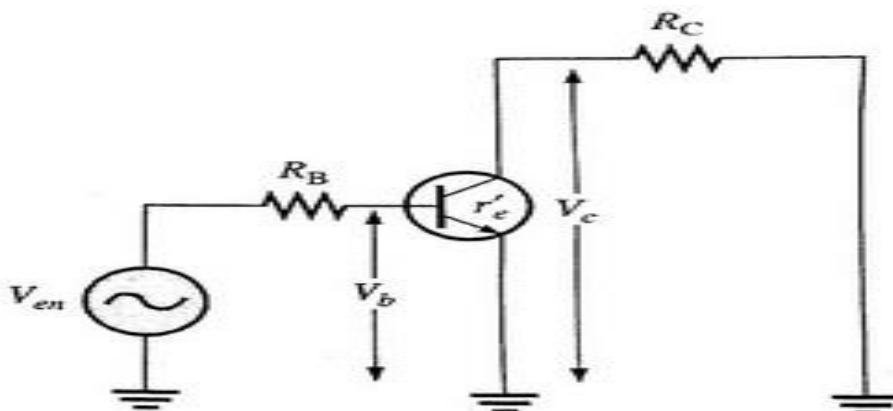


Figure 1.8 : circuit équivalent de l'amplificateur

Source : Thomas L. Floyd. Electronique ; Composants et systèmes d'application

Chapitre 1: Généralités sur les amplificateurs de puissance

La polarisation direct de la jonction base émetteur, présente une faible résistance interne r_e .

- Le courant à l'émetteur I_e :

$$\mathbf{I_e = \frac{V_b}{r_e} \quad \backslash \quad V_b = r_e \times I_e} \quad (1.10)$$

- La tension au collecteur V_c

$$V_c = R_c \times I_c \quad \backslash \quad I_c = I_e$$

$$\mathbf{V_c = R_c \times I_e} \quad (1.11)$$

- La tension V_b est considéré comme la tension d'entrer du transistor.
- La tension V_c est considéré comme la tension de sortie du transistor.
- Le rapport $\frac{V_c}{V_b}$ nous donne le gain en tension A_v .

$$A_v = \frac{V_c}{V_b} = \frac{R_c \times I_e}{r_e \times I_e}$$

$$\mathbf{A_v = \frac{R_c}{r_e}} \quad (1.12)$$

1.5. Polarisation du transistor bipolaire :

Le fonctionnement du transistor bipolaire en amplificateur, nécessite une polarisation, cette dernière définit un point opérationnel (point de repos), qui permet au transistor de reproduire et d'amplifier adéquatement les variations du signal d'entrer à la sortie.

1.5.1. Nécessité de la polarisation

Si un amplificateur n'est pas polariser avec des tensions continus bien déterminer et d'une manière correcte, il peut passer en saturation ou en blocage lorsqu'un signal d'entrer est appliqué, la figure 1.9 illustre les effets d'une polarisation correcte et incorrecte pour un amplificateur inverseur.

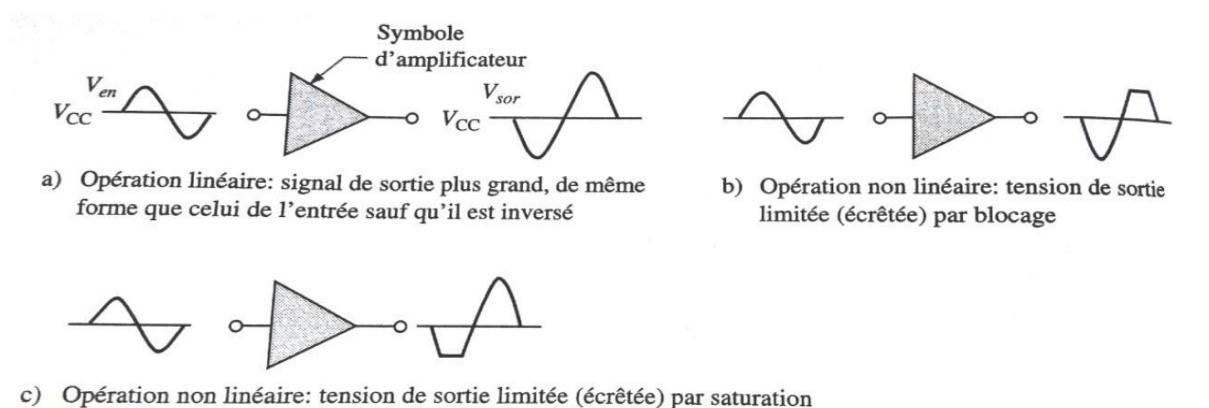


Figure 1.9 : polarisation correcte et incorrecte d'un amplificateur inverseur

Source : Thomas L. Floyd. Electronique ; Composants et systèmes d'application.

Chapitre 1: Généralités sur les amplificateurs de puissance

- **Partie « a »** : le signal de sortie est une amplification fonctionnel du signal d'entrer, mais il est inversé, opération linéaire.
- **Partie « b »** : Un écrêtement de la portion positive du signal de sortie provoqué par la situation du point opérationnel (situé près de la région de blocage).
- **Partie « c »** : Un écrêtement de la portion négative du signal de sortie provoqué par la situation du point opérationnel (situé près de la région de saturation).

1.5.2. Droite de charge et point opérationnel

Nous nous appuyons sur la figure 1.10, pour définir et expliqué l'établissement de la droite de charge et le point opérationnel.

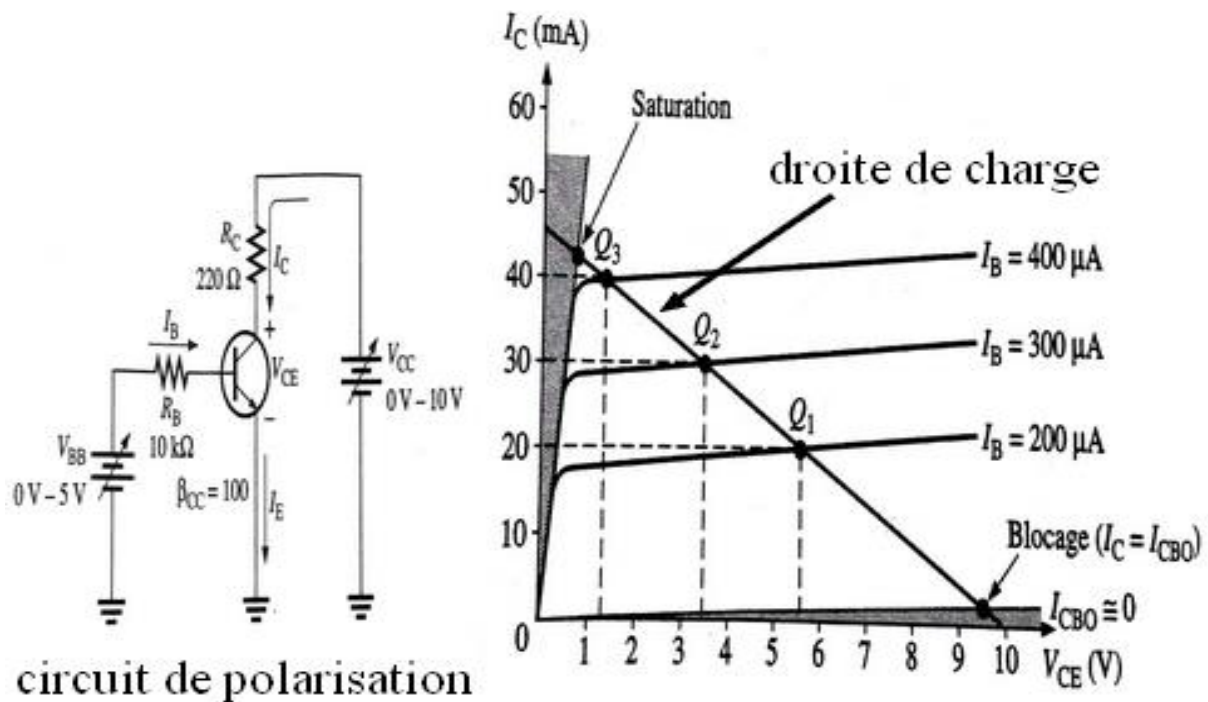


Figure 1.10 : illustration de la droite de charge et le point operationnel.

Source : Thomas L. Floyd. Electronique ; Composants et systèmes d'application.

La polarisation du transistor illustré dans le circuit de la figure 1.10 avec les sources de tensions V_{CC} et V_{BB} variables, nous permet d'obtenir certaines valeurs pour I_B , I_C , I_E et V_{CE} . Nous déterminons analytiquement les trois points opérationnels (Q_1 , Q_2 et Q_3) illustrés sur le graphe de la figure 1.10.

La source de tension variable V_{bb} est ajustée pour produire les trois courants I_B de valeurs $200\mu A$, $300\mu A$ et $400\mu A$ à premier à bord ensuite pour chaque valeur de I_B nous calculons les coordonnées (I_C , V_{CE}) du point opérationnel Q qui convient.

Chapitre 1: Généralités sur les amplificateurs de puissance

- $I_B = 200\mu A$:

$$I_C = \beta_{CC} I_B \quad \beta_{CC} = 100$$

$$I_C = 20mA$$

$$V_{CE} = V_{CC} - R_C I_C \quad V_{CC} = 10V, R_C = 220\Omega$$

$$V_{CE} = 5,6V$$

Donc $Q_1(5,6V, 20mA)$

- $I_B = 300\mu A$:

$$I_C = 30mA$$

$$V_{CE} = 3,4V$$

$Q_2(3,4V, 30mA)$

- $I_B = 400\mu A$:

$$I_C = 40mA$$

$$V_{CE} = 1,2V$$

$Q_2(1,2V, 40mA)$

L'augmentation de I_B , fait augmenter I_C cependant V_{ce} diminue. Diminuer I_B , I_C décroît et V_{CE} augmente. Le point opérationnel du transistor se déplace le long d'une ligne droite inclinée, c'est la droite de charge, elle relie les différents points Q.

L'intersection de la droite de charge avec l'axe de la tension V_{CE} , correspond au point de blocage du transistor. L'intersection de la droite de charge avec l'axe du courant I_C correspond au point de saturation.

1.6. Les amplificateurs de puissances

Nous aborderons les classes sinusoïdales qui comprennent la classe A, B, AB et C, chaque classe possède une configuration de circuit unique, une méthode de fonctionnement unique. Les amplificateurs de puissance sont utilisés comme dernier étage dans une chaîne d'amplification, leur objectif principal est l'amplification de puissance afin de fournir au signal d'entrée la puissance nécessaire, pour alimenter une charge (haut-parleur, actionneur, résistance...etc.)

1.6.1. Intérêt de l'amplification

Nous considérons la figure 2.1, un générateur G (microphone) délivrant une tension sinusoïdale de 10 mV efficace et un récepteur (haut-parleur) R dans la résistance équivalente est de 8Ω .

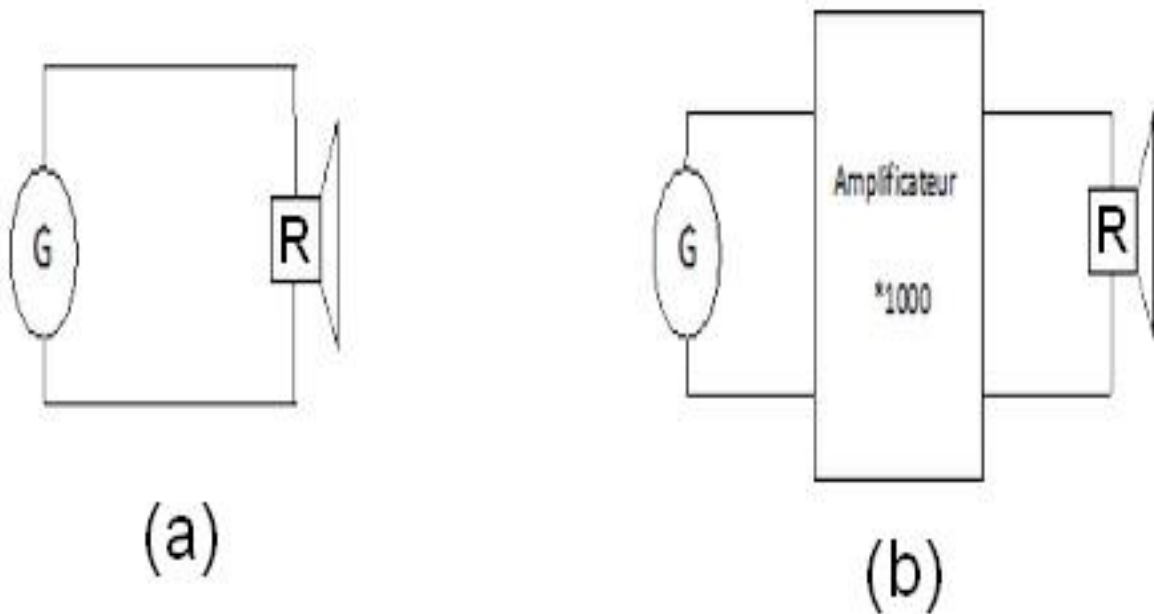


Figure 1.11 : Intérêt de l'amplification.

Source : MICHEL GIRARD ; Amplificateur de puissance.

En reliant le générateur et le récepteur directement tel qu'illustrer sur la figure 1.11a, la puissance de sortie est :

$$P_s = \frac{U_{\text{eff}}^2}{R} = \frac{(10^{-2})^2}{8} = \frac{10^{-4}}{8} = 12,5 \mu\text{W}$$

Cette puissance est insuffisante pour le fonctionnement d'un récepteur de résistance équivalente $R=8\Omega$, pour faire fonctionner le récepteur il faut amplifier le signal issu du générateur.

Connecter le générateur avec le récepteur à travers un amplificateur possédant un gain de 1000, figure 1.11b, le récepteur voit à ces bornes une tension de valeur efficace 10V et la puissance de sortie devient :

$$P_s = \frac{U_{\text{eff}}^2}{R} = \frac{10^2}{8} = 12,5 \text{ W}$$

1.6.2. Rendement d'un amplificateur

D'après la figure 1.12, l'alimentation du montage fournit une puissance totale P_f , qui se répartit entre la puissance utile P_u dissipée dans la charge et P_d dissipée en pure perte,

Chapitre 1: Généralités sur les amplificateurs de puissance

dans l'amplificateur. La puissance P_c fournie par le circuit de commande est en générale négligeable devant celle provenant de l'alimentation.

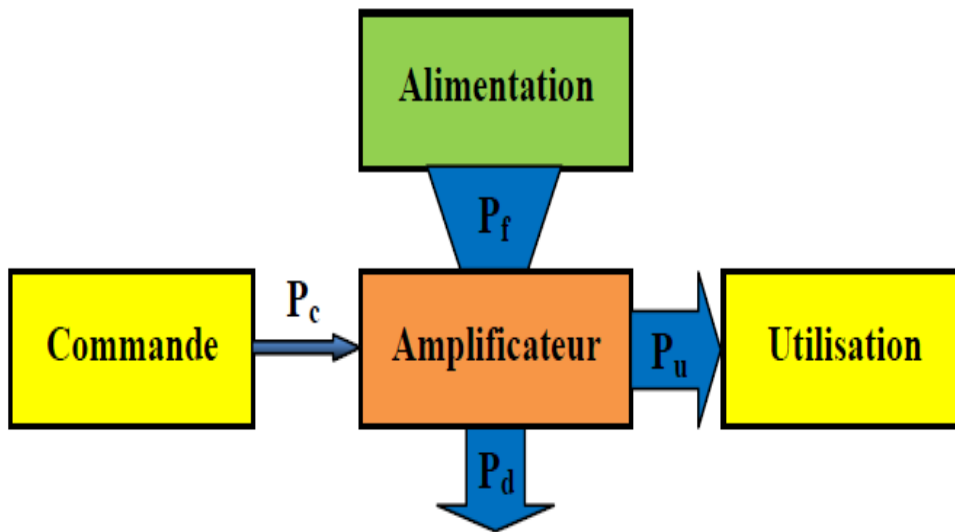


Figure 1.12 : répartition des puissances dans un amplificateur

Source : http://subaru.univ-lemans.fr/enseignements/physique/02/cours_elec/puissan.pdf

- La puissance moyenne utile :

$$P_u = \frac{1}{T} \int_0^T P_u(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T v \cdot i \cdot dt \quad (1.12)$$

- Le gain en puissance : $G_p = P_u / P_c$

- Le rendement : $\eta = P_u / (P_c + P_f)$

$$P_c \text{ est négligé devant } P_f \text{ donc } \eta \approx P_u / P_f \quad (1.13)$$

1.6.3. Critère de sélection d'une classe d'amplificateur

Les amplificateurs de puissance présente des avantages et des inconvénients, selon leurs classes de fonctionnements, de nombreux critères interviennent lors du choix d'une classe de fonctionnement, les plus importants sont :

- La puissance de sortie.
- Le rendement.
- La puissance maximale que peut dissiper l'élément actif.
- Le gain (en tension, en puissance).
- La distorsion du signal de sortie.

- La fréquence maximale de travail.

1.7. Les classes de fonctionnement des amplificateurs de puissances

1.7.1. Amplificateur classe A

Le fonctionnement d'un amplificateur classe A est illustré sur la figure 1.13, la forme d'onde de sortie est une réplique amplifiée du signal d'entrée et peut être soit en phase, soit déphaser de 180 degrés (inversée) par rapport au signal d'entrée.

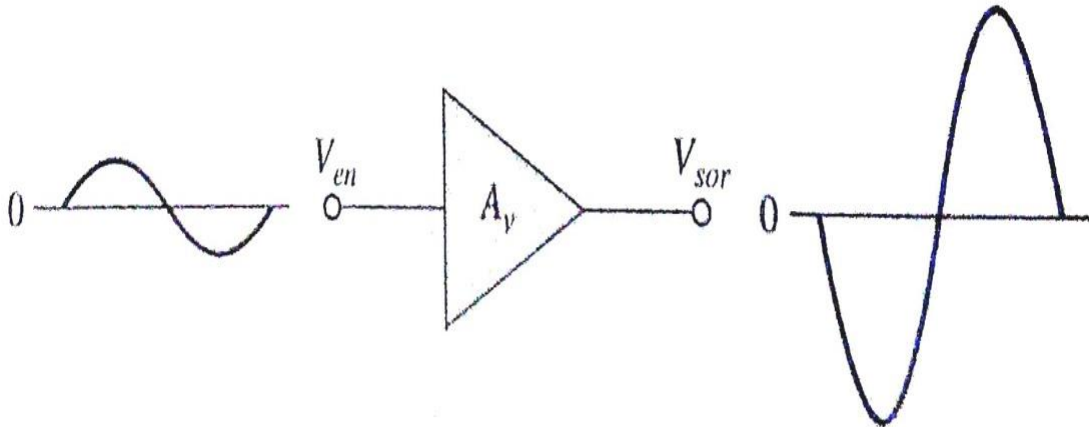


Figure 1.13 : fonctionnement en classe A

Source : Thomas L. Floyd. Electronique ; Composants et systèmes d'application.

1.7.1.1. Caractéristiques d'un amplificateur classe A

Les amplificateurs classe A sont des amplificateurs linéaires, les plus fidèles, ils présentent le taux de distorsions le plus faible, leur étage de sortie comporte un seul transistor.

➤ Point de fonctionnement

Pour avoir une amplification maximale de signal d'entrée, le point de fonctionnement Q doit être placé au centre de la droite de charge comme le montre la figure 1.14, le courant au collecteur peut varier, de sa valeur I_{CQ} , jusqu'à sa valeur supérieure $I_{C(sat)}$ et jusqu'à sa valeur inférieure de blocage de zéro, la tension entre le collecteur et l'émetteur oscille de sa valeur V_{CEQ} jusqu'à sa valeur maximale $V_{CE(blocage)}$ et jusqu'à sa valeur inférieure zéro.

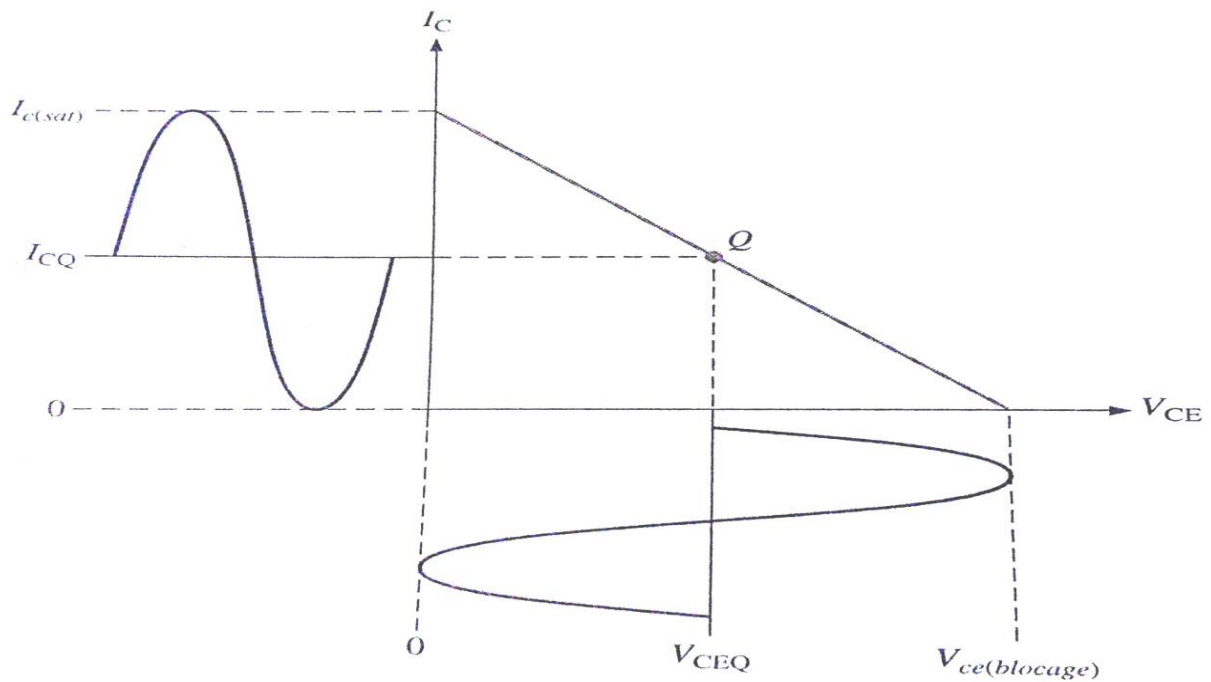


Figure 1.14 : droite de charge et point de fonctionnement en classe A

Source : Thomas L. Floyd. Electronique ; Composants et systèmes d'application.

➤ Structure de base

L'étage de sortie de l'amplificateur classe A se présente sous la forme illustrer par la figure 1.15.

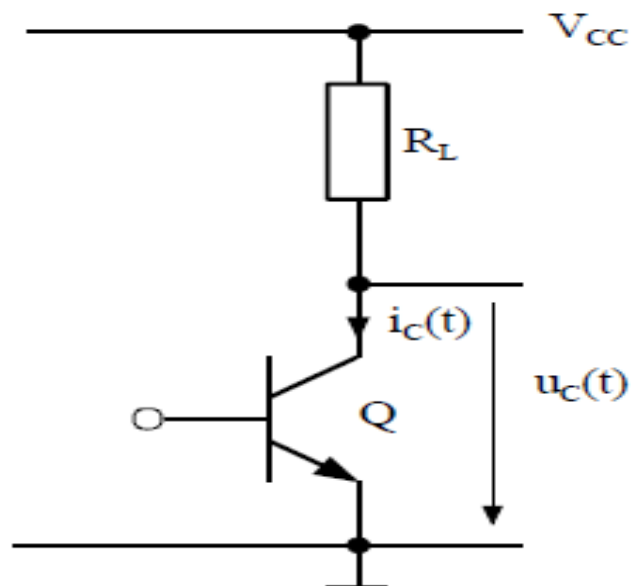


Figure 1.15 : montage de base d'un amplificateur classe A

Source : MICHEL GIRARD ; Amplificateur de puissance.

Chapitre 1: Généralités sur les amplificateurs de puissance

La tension $u_c(t)$ et le courant au collecteur $i_c(t)$, sont constitués de la polarisation à laquelle se superpose le signal alternatif à amplifier.

➤ Puissance utile dissipée dans la charge

En régime sinusoïdale, la tension $u_c(t)$ et le courant $i_c(t)$ de sortie s'écrivent :

$$u_c(t) = V_{cc}/2 + U \cdot \sin(\omega t); \quad i_c(t) = V_{cc}/2RL + U/RL \cdot \sin(\omega t)$$

La puissance dissipée dans la charge est donc :

$$P_u = \frac{1}{T} \int_0^T u(t)i(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T \left[\frac{V_{cc}}{2} + U \sin \omega t \right] \left[\frac{V_{cc}}{2RL} + \frac{U}{RL} \sin \omega t \right] dt$$

$$P_u = V_{cc}^2/4RL + U^2/2RL \quad (1.14)$$

Le premier terme est constant seul le second terme contient une information. L'expression de la puissance utile est donc : $P_u = V_s^2/2RL$

➤ Puissance fourni par l'alimentation

$$P_f = \frac{1}{T} \int_0^T \left[\frac{V_{cc}}{2Rc} + \frac{U}{Rc} \sin \omega t \right] dt = \frac{V_{cc}^2}{2Rc} \quad (1.15)$$

➤ Puissance dissipée dans le transistor

C'est la différence entre la puissance fournie par l'alimentation et la puissance de sortie.

$$P_T = P_f - P_u = \frac{V_{cc}^2}{2Rc} - U^2 \cdot Rc \quad (1.16)$$

➤ Rendement utile

C'est le quotient de la puissance utile par la puissance fournie par l'alimentation :

$$\eta = P_u/P_f = U^2 / V_{cc}^2 \quad (1.17)$$

Or l'amplitude maximal de la tension de sortie et $V_s = E / 2$. Pour éviter la distorsion en sortie. Il ne faut pas dépasser cette valeur en rendement.

Cette classe de fonctionnement présente un rendement η faible, qui est limité à 0.5 et il dépend de mode de liaison avec la charge :

Liaison par transformateur $\eta_{\max} = 0,5$.

Liaison directe $\eta_{\max} = 0,25$.

Liaison capacitive $\eta_{\max} < 0,25$

1.7.2. Amplificateur classe B push-pull

Les amplificateurs de puissance classe B sont souvent rencontrés en basse et moyenne fréquence, ils possèdent un rendement élevé comparativement à la classe A, cependant il est difficile de mettre en œuvre leur circuit de façon à reproduire d'une façon linéaire la forme d'onde de l'entrée.

1.7.2.1. Schéma de principe simplifié

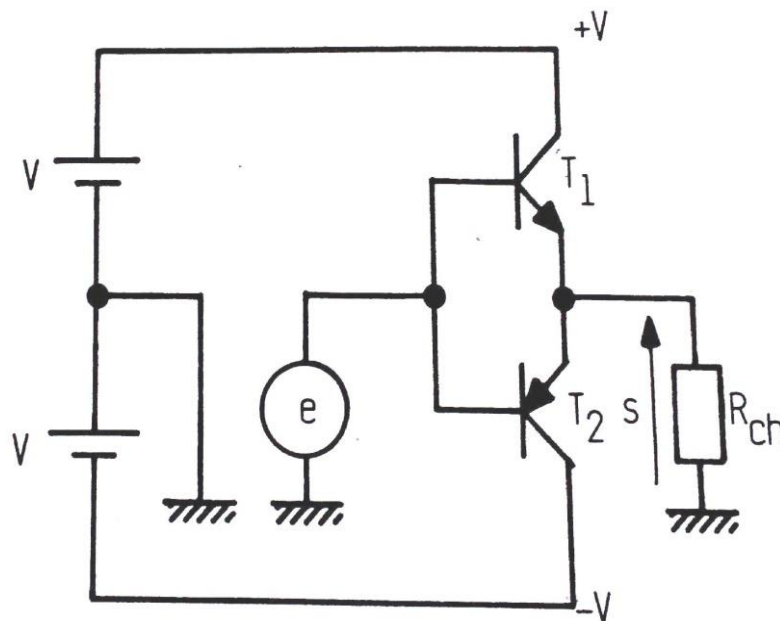


Figure 1.16 : schéma de base d'un amplificateur classe B.

Source : Michel GIRARD ; Amplificateurs de puissance.

A partir de la figure 1.16 nous pouvons énumérer les différents éléments de l'amplificateur

- Deux alimentations synthétiques par rapport à la masse.
- Deux transistors complémentaires "T1" et "T2" de type "NPN" et "PNP".
- Un générateur "e" qui génère le signal d'entrée.

1.7.2.2. Principe de fonctionnement

D'après la figure 1.17 le transistor Q1 type NPN, conduit durant l'alternance positive du signal d'entrer. Le transistor Q2 conduit durant l'alternance négative du signal d'entrée.

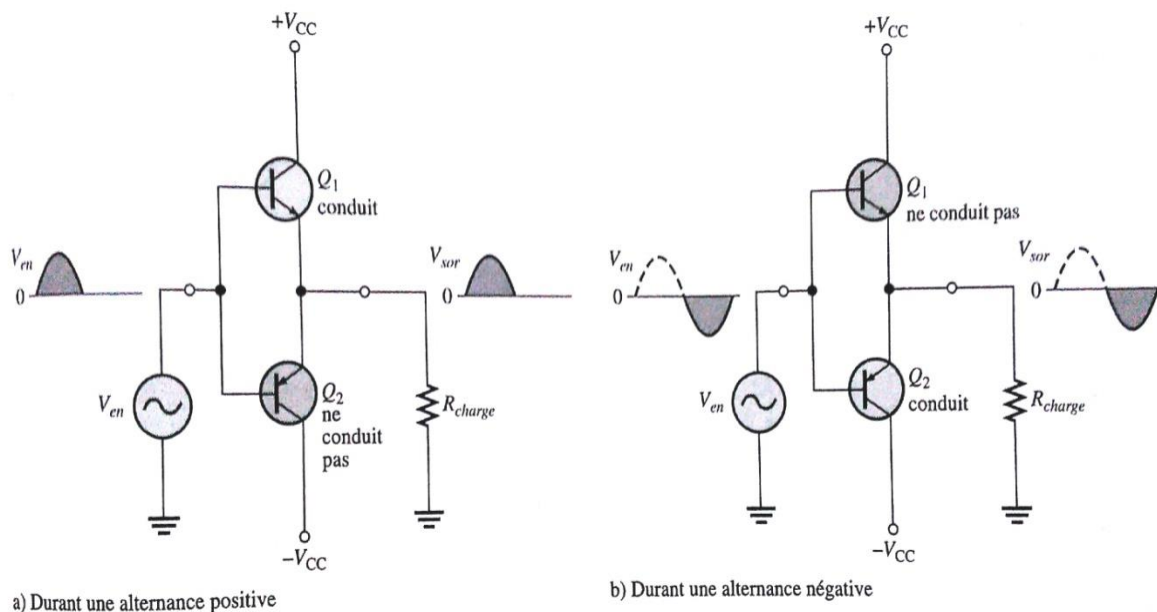


Figure 1.17 : illustration du fonctionnement en classe B.

Source : Thomas L. Floyd. Electronique ; Composants et systèmes d'application.

1.7.2.3. Distorsion de croisement

Cette classe de fonctionnement est polarisée au point de blocage, donc la tension de polarisation de base est nulle, les deux transistors Q1 et Q2 ne conduisent que si la tension d'entrée V_{en} excède 0.7V pour le type NPN, et lorsque V_{en} inférieure à -0.7V pour le type PNP. Pour cette raison, il existe une distorsion lors du raccordement des deux alternances positive et négative du signal de sortie, c'est la distorsion de croisement, figure 1.18.

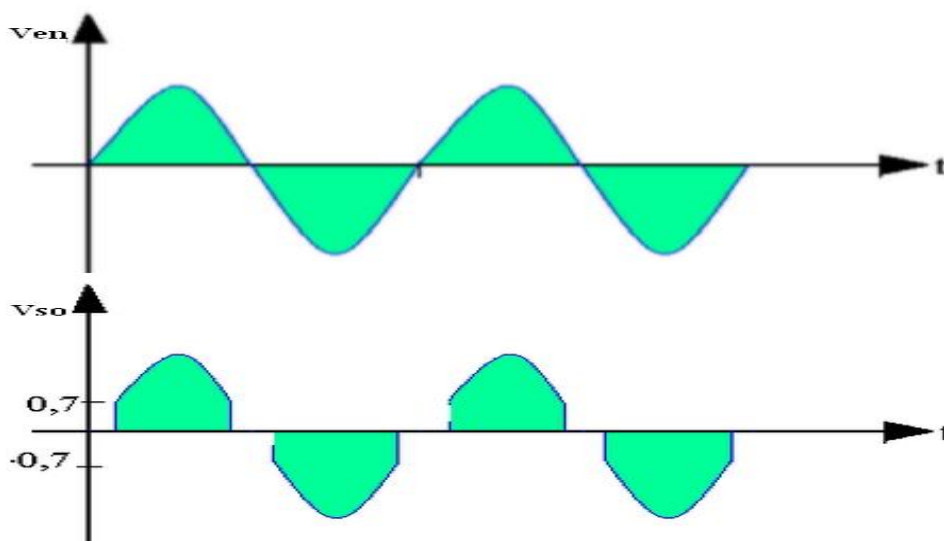


Figure 1.18: Illustration de la distorsion de croisement

Source : http://subaru.univ-lemans.fr/enseignements/physique/02/cours_elec/puissan.pdf

Pour pallier au problème de la distorsion de croisement, nous devons polariser les deux transistors T1 et T2 légèrement au-dessus de la région de blocage. Cette polarisation de l'amplificateur classe B push-pull représente la classe AB.

1.7.3. Amplificateur classe AB push-pull

La polarisation de l'amplificateur classe B push-pull au-dessus de point de blocage, nous donne un fonctionnement en classe AB, l'étage de sortie est le même que celui de la classe B.

1.7.3.1. Structure de base

La structure de base de la sortie de l'amplificateur B a été modifiée au niveau de la polarisation. Au repos, un courant de polarisation, dont la valeur est fonction de la qualité de la linéarité exigée, est imposé à la paire de transistors complémentaires de sortie.

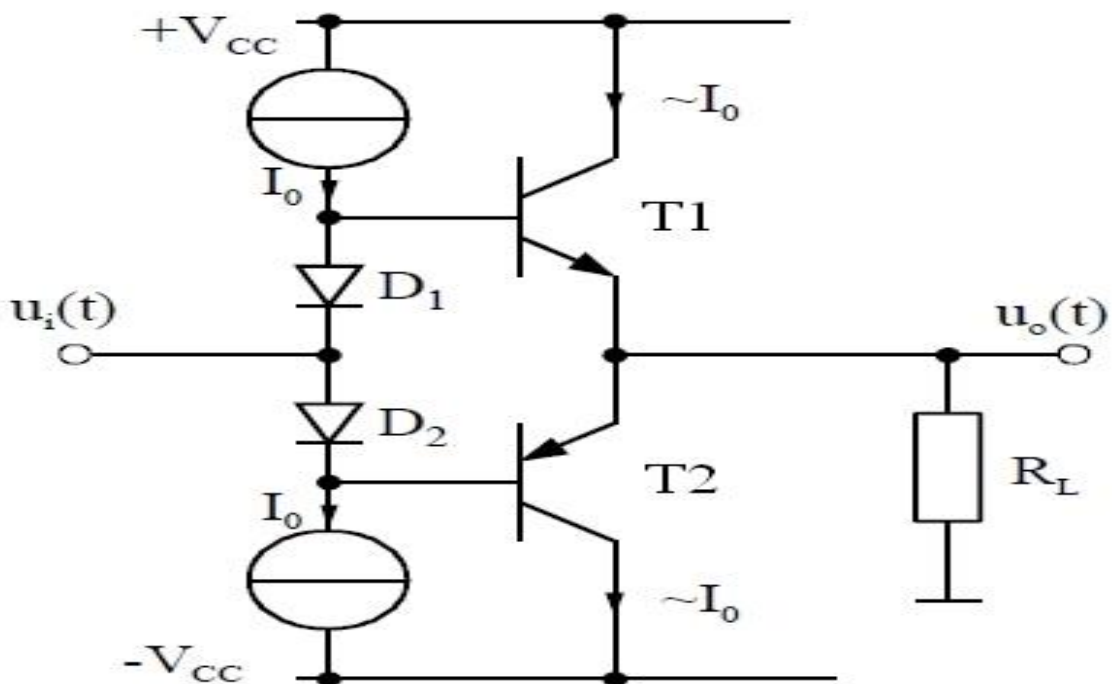


Figure 1.19 : structure de base d'un amplificateur classe AB push-pull.

Source : http://subaru.univ-lemans.fr/enseignements/physique/02/cours_elec/puissan.pdf

Les deux diodes D1 et D2 polarisent les bases de T1 et T2, elles imposent la tension V_{BE0} au repos, les deux sources de courant imposent les courants de base I_{b0} , d'où la détermination

Chapitre 1: Généralités sur les amplificateurs de puissance

du point opérationnel, qui permettra aux deux transistors de travailler dans la région linéaire à l'application du signal d'entrée.

1.7.3.2. Caractéristique de transfert

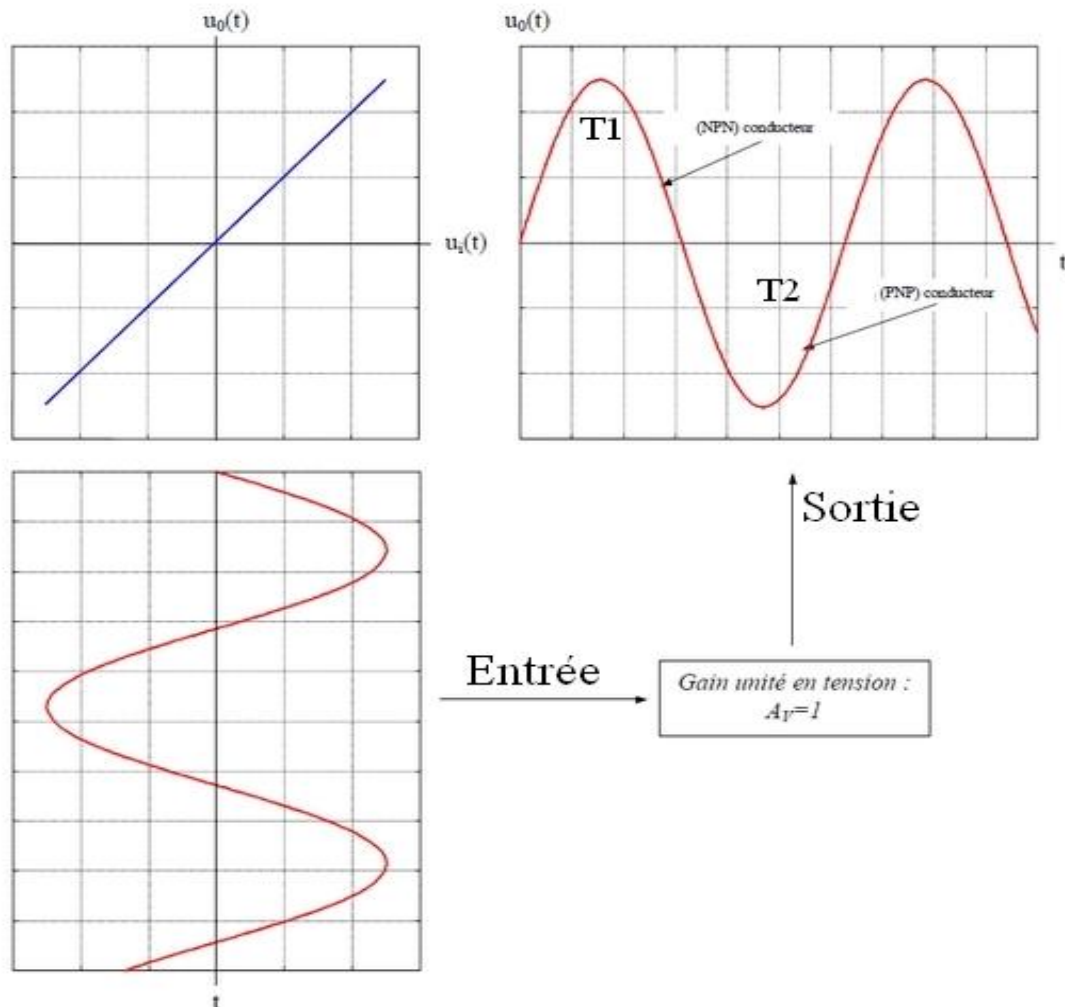


Figure 1.20 : caractéristique de transfert d'un amplificateur classe AB push-pull.

Source : Cours systèmes électroniques (Hes.so haute école spécialisée de Suisse Occidentale)

Nous constatons que la distorsion de croisement est éliminée en classe AB, le gain en tension $A_V=1$, gain unité.

1.7.3.3. Puissance et rendement en classe AB

Nous utiliserons le circuit de la figure 1.20 pour donner les formules de la puissance et le rendement. La puissance dans le circuit de polarisation est négligée pour simplifier les calculs.

En régime sinusoïdal, la puissance dissipée dans la résistance de charge R_L s'exprime par la relation suivante :

Chapitre 1: Généralités sur les amplificateurs de puissance

$$P_{RL} = \frac{U_0^2 \max}{2R_L} \quad (1.19)$$

La puissance maximale dissipée dans les transistors :

$$P_{T \max} = \frac{2V_{CC} \times U_0 \max}{\pi R_L} - \frac{U_0^2 \max}{2R_L} \quad (1.20)$$

La puissance délivrée par l'alimentation n'est rien d'autre que la somme des puissances dissipées dans les transistors Q_1 , Q_2 et dans la charge R_L .

$$P_{Tot} = P_T + P_{RL} = \frac{2V_{CC} \times U_0 \max}{\pi R_L} \quad (1.21)$$

Cette puissance est maximale lorsque $U_0 \max = V_{cc}$

$$P_{Tot \max} = \frac{2 \cdot V_{CC}^2}{\pi R_L} \quad (1.22)$$

Par définition le rendement de l'amplificateur classe AB est le rapport de la puissance de dissipée dans la charge, dans notre cas P_{RL} et la puissance fournie par l'alimentation P_{Tot} .

$$\eta = \frac{P_{RL}}{P_{Tot}} = \frac{\pi}{4} \times \frac{U_0}{V_{CC}} \quad (1.23)$$

Le rendement est maximum lorsque la tension de sortie de l'amplificateur est maximale donc $U_0 = V_{CC}$

$$\eta = \frac{\pi}{4} = 78.7\% \quad (1.24)$$

1.8. Conclusion

Après avoir établi quelques notions de bases sur le transistor bipolaire, et avons fait connaître les différentes structures des amplificateurs de puissance, qui nous intéressent pour le dimensionnement et la réalisation d'un circuit amplificateur, dont la finalité est l'intégration de ce dernier dans la réalisation de notre alimentation dont le cahier des charges est fourni.

Le présent chapitre nous permet aisément de choisir la configuration et la classe de fonctionnement de l'amplificateur que nous allons utiliser et les différentes techniques à exploiter afin d'avoir un signal de sortie purement sinusoïdale.

Le deuxième chapitre sera consacré pour le dimensionnement et le calcul du circuit amplificateur.

CHAPITRE

2

Chapitre 2 : Présentation du circuit amplificateur

2.1. Introduction

Le présent chapitre sera consacré à la présentation du circuit amplificateur, que nous allons utiliser dans la réalisation de notre alimentation, ce circuit imposé par le cahier des charge est dimensionner pour une tension d'alimentation +70V, -70V et une puissance de sortie de l'ordre de 1000W.

Le circuit amplificateur comporte plusieurs bloc, chaque bloc constitue un étage amplificateur, dans ce chapitre nous expliquerons le rôle et l'utilité de chaque étage, ainsi le rôle de chaque composant.

2.2. Le circuit amplificateur

Comme nous l'avons mentionné le circuit amplificateur à étudier est proposé par le cahier des charges, il s'agit d'un schéma d'amplificateur de puissance 500W à 1000W, il est présenté sur la figure 2.1.

L'amplificateur est dimensionné pour une tension d'alimentation +70V et -70V, à la sortie nous aurons qu'une tension de valeur efficace 49,65V, pour l'utiliser en respectant le cahier des charges fournie, nous devons le redimensionner.

Chapitre 2 : Présentation du circuit amplificateur

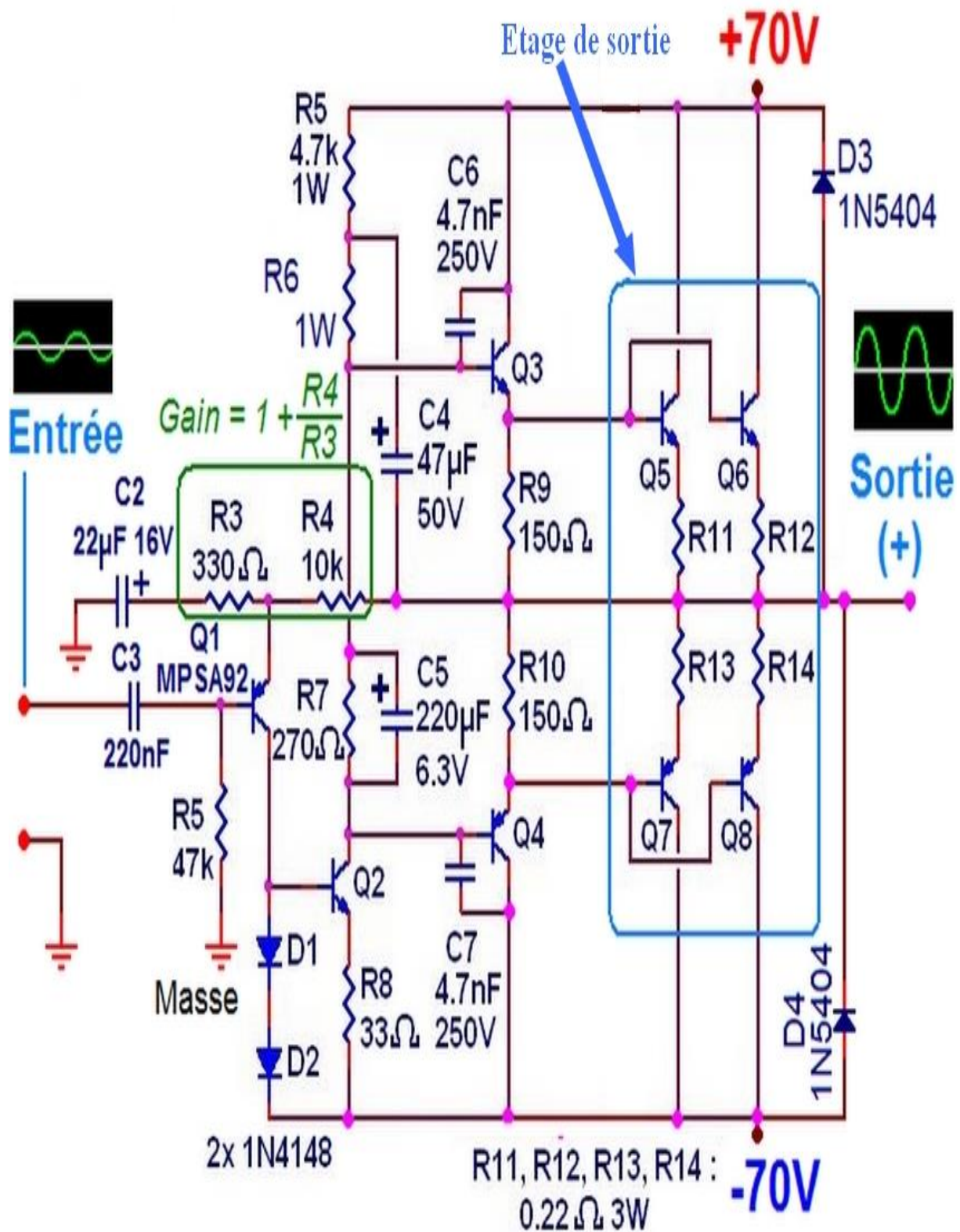


Figure 2.1 : le circuit amplificateur.
Source : cahier des charges

Chapitre 2 : Présentation du circuit amplificateur

2.3. Définition des étages de l'amplificateur :

Le circuit amplificateur comporte plusieurs étages, à savoir l'étage d'entrée, qui reçoit le signal d'entrée, l'étage driver ou l'étage amplificateur en tension qui nous permet de commander l'amplificateur en tension et en courant, l'étage préamplificateur ou de stabilisation, qui sert à stabiliser l'amplificateur, l'étage de sortie son rôle principale est de fournir la puissance nécessaire à la charge.

2.3.1. Etage d'entrée

L'étage d'entrée est basé sur le transistor Q1, qui constitue l'étage différentiel. La tension d'entrée arrive sur la base de Q1, à travers le filtre R1/C3 passe haut. Ce filtre permet de polariser la base de T1 à -1.3V environ.

L'émetteur de Q1 correspond à la contre réaction, le courant dans R4 permet la conduction du transistor Q1, le gain de l'ampli est donc par $G=1+R4/R3$. Pour varier le gain nous pouvons ajuster R3, C2 réduit ce gain aux basses fréquences.

2.3.2. Etage amplificateur en tension (driver)

C'est l'étage clé de l'amplificateur, il nous permet de commander l'amplificateur en courant et en tension, L'amplification de tension est basée sur Q2, dont le collecteur est relié à un ensemble résistif R5 et R6 et une capacité C4 qui se comporte comme une source de courant.

La résistance R7 impose une tension de 1.8V à 2V environ, pour polariser les bases des transistors Q3 et Q4. C5 stabilise cette tension.

Les diodes D1 et D2 avec R4 servent à limiter le courant dans T2, Il ne faut pas y avoir plus de 1.2 aux bornes de l'ensemble D1 et D2, afin de limiter la tension aux bornes de R8 à 0.6V

2.3.3. Stabilisation de l'ampli

Pour éviter des oscillations hautes fréquences provoquant l'instabilité de l'ampli, on ajoute C4 et C6 (4.7nF 250V). Elles augmentent la marge de phase (effet Miller).

2.3.4. Etage de sortie

L'étage de sortie est basé sur des paires de transistors de puissance (amplificateur classe AB push-pull) montées en parallèle selon la puissance de l'ampli.

Chapitre 2 : Présentation du circuit amplificateur

D3 et D4 protègent l'étage de sortie de l'ampli contre des surtensions qui apparaîtraient en cas de forte saturation de l'ampli sur charge inductive. Ces diodes doivent supporter au moins 200V et 3A.

2.4. Conclusion

En ce chapitre nous avons fait une brève démonstration sur le circuit amplificateur, il sert d'un préambule pour aborder le chapitre 3, où nous allons dimensionner et calculer les paramètres du circuit, selon le cahier des charges fourni.

CHAPITRE

3

Chapitre 3 : Calcul, redimensionnement et simulation du circuit amplificateur

3.1. Introduction

Après avoir établis les notions théoriques nécessaire sur le fonctionnement des transistors bipolaire en amplificateur et les amplificateurs de puissance, dans premier chapitre, nous avons définis le circuit amplificateur dans deuxième chapitre, le présent chapitre sera consacré, pour calculer et redimensionner le circuit amplificateur ainsi le simuler, tout en respectant le cahier des charges fournie.

Le bon fonctionnement du circuit fournie est confirmé, pour une tension d'alimentation de +70V et -70V, pour calculer les éléments du circuit nous appuyons sur des méthodes analytiques et nous utiliserons aussi l'outil simulation pour dimensionner certains composants, car notre but n'est pas le calcul, mais de dimensionner le circuit pour l'adapter aux contraintes du cahier des charges, ensuite le simuler pour confirmer les résultats obtenus, enfin la réalisation de ce circuit.

Comme première étape, nous simulerons le circuit amplificateur pour illustrer son fonctionnement tel qu'il est fourni, puis nous allons calculer selon le cahier des charges, en fin nous simulerons une dernière fois afin de confirmer les résultats obtenus.

3.2. Cahier des charges :

Tableau 3.1: cahier des charges

La charge à alimenter	73 Ω
Tension d'entrée	2 V
Tension de sortie efficace	220V
Courant a la sortie	3.01 A
Puissance de sortie	662 W
Fréquence	Variable [33 à 1000 HZ]

Remarque : la puissance peut augmenter jusqu'à 1000W, et la tension de sortie peut être variable, en variant soit le gain, soit la tension d'entrée.

Chapitre 3 : Calcul, redimensionnement et simulation du circuit amplificateur

3.3. Simulation du circuit amplificateur

3.3.1. Logiciel de simulation

Pour la simulation nous employons le logiciel Proteus (ISIS et ARES), c'est une suite logicielle destinée à l'électronique. Développé par la société Labcenter Electronics, les logiciels inclus dans Proteus permettent la CAO dans le domaine électronique. Deux logiciels principaux composent cette suite logicielle: ISIS, ARES, que nous utiliserons.

Cette suite logicielle est très connue dans le domaine de l'électronique. De nombreuses entreprises et organismes de formation l'utilisent. Proteus possède plusieurs avantages parmi ces avantages nous citons :

- Pack contenant des logiciels facile et rapide à comprendre et à utiliser.
 - Le support technique est performant.
 - L'outil de création de prototype virtuel permet de réduire les coûts matériel et logiciel lors de la conception d'un projet
- **ISIS** : Le logiciel ISIS de Proteus est principalement connu pour éditer des schémas électriques. Par ailleurs, le logiciel permet également de simuler ces schémas. Indirectement, les circuits électriques conçus grâce à ce logiciel peuvent être utilisés dans des documentations, car le logiciel permet de contrôler la majorité de l'aspect graphique des circuits.
- **ARES** : Le logiciel ARES est un outil d'édition et de routage qui complète parfaitement ISIS. Un schéma électrique réalisé sur ISIS peut être importé facilement sur ARES pour réaliser le PCB de la carte électronique, ce logiciel permet de placer automatiquement les composants et de réaliser le routage automatiquement.

3.3.2. Simulation du circuit amplificateur

La figure 3.1 nous présente le circuit amplificateur simulé sous Isis Proteus.

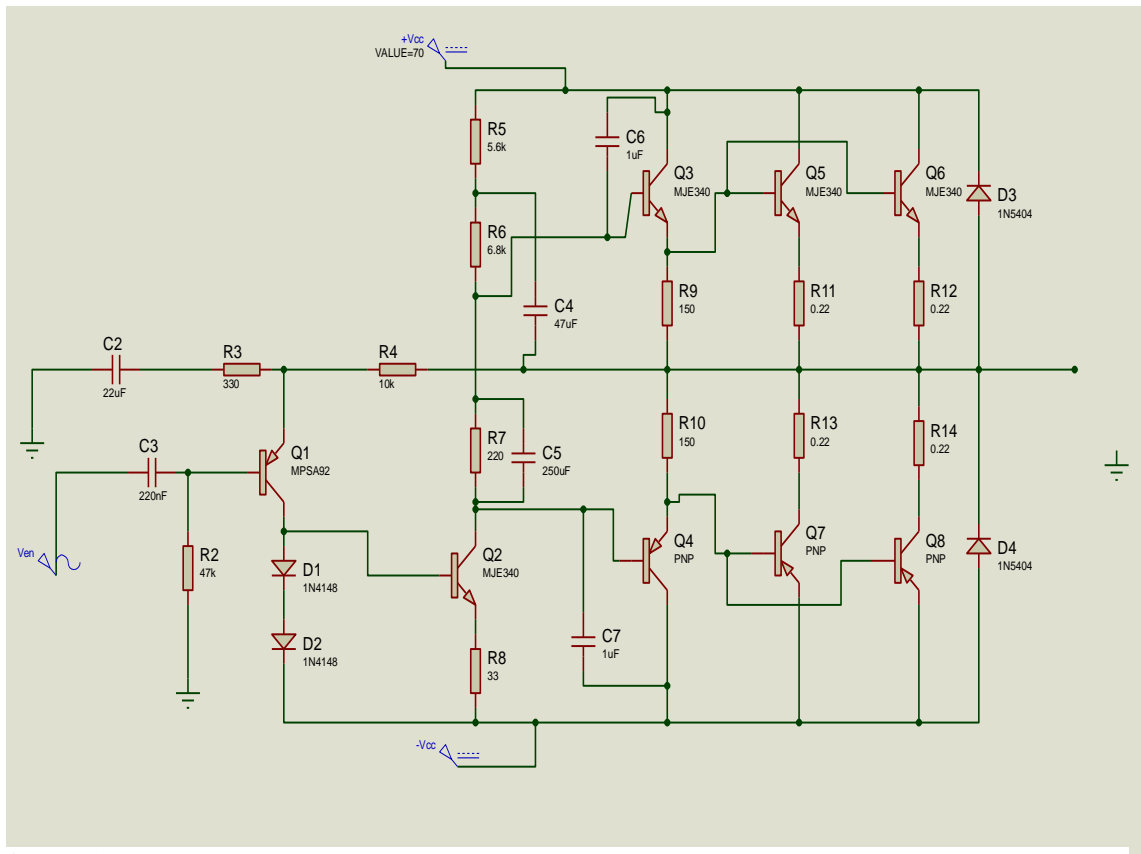


Figure 3.1: schéma de simulation (Isis proteus)

3.3.3 La liste des composants

Comme le montre la figure Le circuit comporte des résistances, des capacités, des diodes et les transistors

➤ Les résistances

$R_2=47K\Omega$, $R_3=330 \Omega$, $R_4 =10 K\Omega$, $R_5=5.6 K\Omega$, $R_6=6.8 K\Omega$, $R_7=270 \Omega$, $R_8 = 33 \Omega$, $R_9 = R_{10} = 150 \Omega$, $R_{11}=R_{12}=R_{13}=R_{14}=0.22 \Omega$.

➤ Les capacités

$C_2 = 22 \mu F$, $C_3 = 220 nF$, $C_4 = 47 \mu F$, $C_5 = 220 \mu F$, $C_6 = C_7 = 4.7nF$.

➤ Les diodes

Les diodes et les transistors nous donnent leurs références.

D1 et D2 (1N4148), D3 et D4 (1N5404).

Chapitre 3 : Calcul, redimensionnement et simulation du circuit amplificateur

➤ Les transistors

Q1 (MPSA92), Q2 (2SC3116 ou MJE340), Q3 (2SC2073), Q4 (2SA940)

Q5 et Q6 (MJL21194), Q7 et Q8 (MJL21193).

➤ Tension d'alimentation

$+V_{cc} = 70V$, $-V_{cc} = -70V$.

➤ Tension et fréquence d'entrée

La tension d'entrée est de forme sinusoïdale, de valeur efficace 2V.

La fréquence est fixée à 400 Hz.

3.4. Calcul analytique des paramètres du circuit

Les paramètres qu'il faut déterminer avant de mettre en œuvre un amplificateur sont : la tension maximale de sortie, le gain en tension, la puissance maximale de sortie et le courant que peut fournir l'alimentation de l'amplificateur.

➤ Le gain en tension de l'amplificateur

$$A_v = 1 + \frac{R_4}{R_3} = 31.30.$$

➤ La tension de sortie maximale V_s

La tension de sortie maximale est de 70V, en valeur efficace c'est $70/\sqrt{2}$, la tension de sortie ne doit pas excéder ces valeurs, le produit de la tension d'entrée par le gain nous donne la valeur de la tension de sortie.

La tension d'entrée est fixée à 2V.

$$\text{Donc : } V_{s\max} = V_{en} \times A_v = 62.60V.$$

$$V_{seff} = 62.60/\sqrt{2} = 44.26V.$$

➤ Le courant de sortie I_s

Le courant dépend de la charge, si nous chargeons, le circuit avec une charge résistive R_c de valeur 20Ω nous aurons :

$$I_{seff} = \frac{V_{seff}}{R_c} = 2.21A.$$

Chapitre 3 : Calcul, redimensionnement et simulation du circuit amplificateur

➤ La puissance de sortie

La puissance dissipée dans la charge s'exprime par :

$$P_s = \frac{V_{s\max}^2}{2R_c} = 97.97W.$$

Nous pouvons calculer la puissance de sortie par la formule générale de puissance en régime sinusoïdale :

$$P_s = V_{\text{seff}} \times I_{\text{seff}} \times \cos \varphi. \quad (1.25)$$

La charge est résistive, $\cos \varphi = 1$ donc :

$$P_s = V_{\text{seff}} \times I_{\text{seff}} = 97.94.$$

3.5. Les Résultats de simulation

➤ Tension d'entrée et tension de sortie

La figure ci-dessous montre les graphes de la tension d'entrée et la tension de sortie.

La figure (3.2) nous montre que le signal de sortie est fonction de celui d'entrée, avec une tension d'entrée V_{en} sinusoïdale, nous obtenons en sortie une tension sinusoïdale V_s , qui une amplification de V_{en} , les valeurs crêtes de la tension de sortie sont +61,5V et -61,5V, nous constatons une chute de tension de valeur 1,1V par rapport aux calculs, cette chute de tension est la tension de la jonction collecteur-émetteur V_{CE} des transistors de l'étage de sortie.

Ce résultat montre l'utilité d'employer des transistors complémentaires (NPN, PNP), dans les amplificateurs classe AB.

Chapitre 3 : Calcul, redimensionnement et simulation du circuit amplificateur

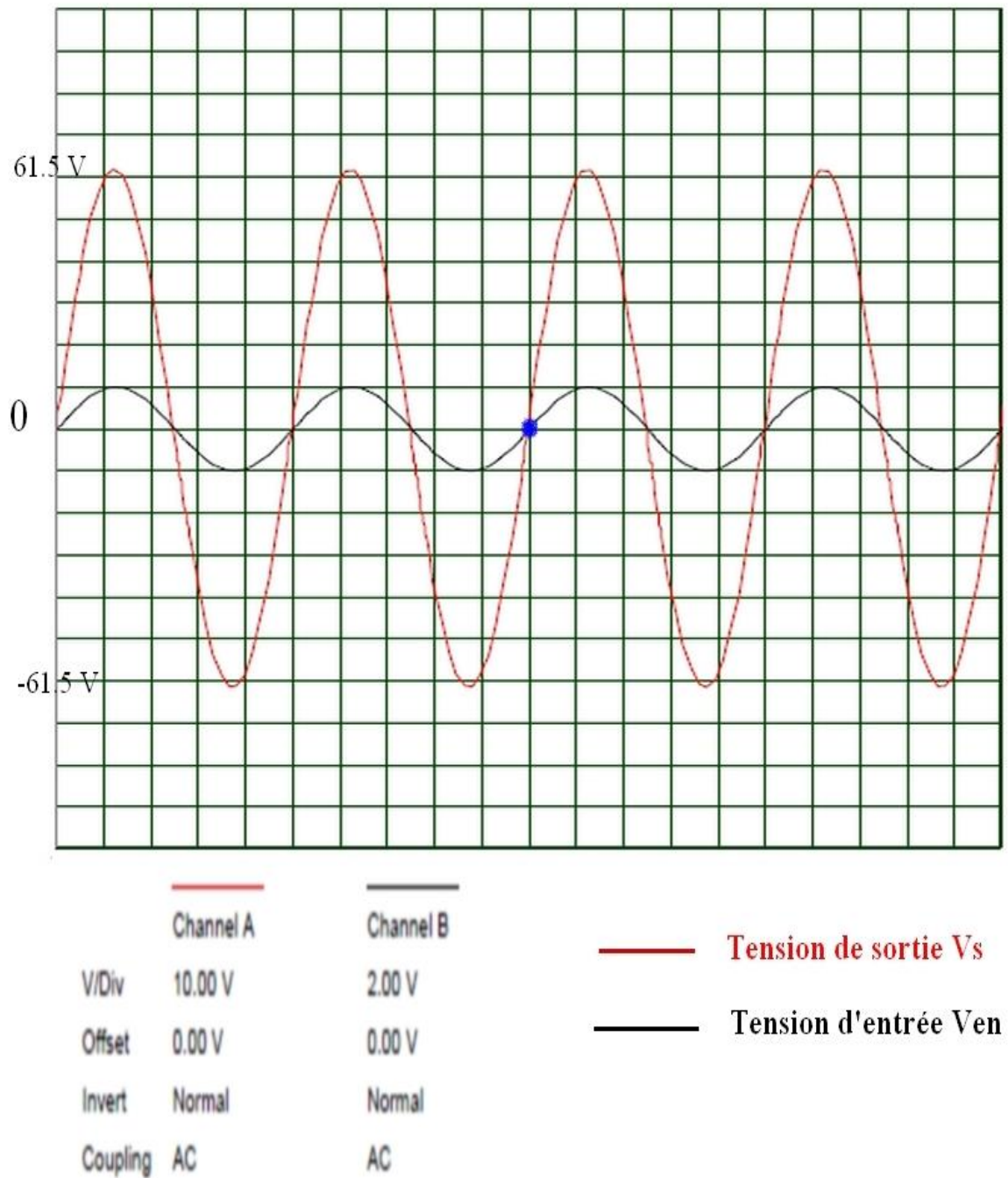


Figure 3.2 : les résultats de simulation (tension de sortie et tension d'entrée)
Source : ISIS PROTEUS (résultat de simulation)

3.6. Adaptation du circuit amplificateur au cahier des charges fournie

Après avoir vérifié le fonctionnement du circuit amplificateur fournie, par la simulation, nous devons l'adapter aux contraintes du cahier des charges, pour ce faire nous devons calculer et dimensionner les étages qui constituent le circuit.

3.6.1 Quelques calculs préliminaires

La tension efficace de sortie de la source étant fixée à 220V (valeur maximale), nous fixe la tension d'alimentation ($220 \times \sqrt{2}$).

Donc $+V_{cc}=311.12V$, $-V_{cc}= -311.12V$, en considérant la chute de tension dans les transistors V_{CE} , nous prenons $+V_{cc}=314V$, $-V_{cc}= -314V$.

La charge R_c est fixée 73Ω , le courant de charge I_{ch} , peut être calculé $I_{ch} = \frac{220}{73} = 3.01A$.

La puissance de sortie : $P_s = 220 \times 3,01 = 662.2W$.

3.6.2 Adaptation de l'étage de sortie

L'étage de sortie est un amplificateur classe AB push-pull, le dimensionnement de cet étage nécessite la définition de type des transistors à utiliser, pour cela nous devons connaître les paramètres suivants :

- La tension maximum collecteur-émetteur pour les transistors NPN ou PNP.
- Le courant maximum de collecteur.
- La puissance maximum dissipée dans les transistors

3.6.2.1. Les transistors Q5 et Q6 (NPN) :

La tension V_{CEmax} maximum que doit supporter les transistors est la somme de la tension d'alimentation, avec le maximum en valeur absolue de l'alternance négative de la tension de sortie.

$$V_{CEmax} = V_{cc} + V_{seffmax} = 314 + 222 = 536.03V$$

Le courant maximum I_{CQ} du collecteur correspond au courant de charge $I_{CQ} = 3.01A$, l'étage de sortie contient deux niveaux, le courant de collecteur sera divisé en deux c'est-à-dire $I_{ch} = I_{CQ5} + I_{CQ6} = 1,505 + 1,505 = 3.01A$.

La puissance maximum dissipée par le transistor ne correspond pas au produit de la tension V_{CEQmax} par le courant I_{CQ} . En effet, lorsque la tension V_{CEQ} est maximum le courant

Chapitre 3 : Calcul, redimensionnement et simulation du circuit amplificateur

I_{CQ} est nul. Pour calculer la puissance nous nous référons à l'équation 1.20 vu au premier chapitre. Le développement de cette équation nous donne : $P_T = \frac{3.55 \times V_{CC}^2}{4\pi \times \sqrt{2} \times R_L}$.

Dans notre cas R_L est équivalente à R_C

$$P_T = \frac{3.55 \times 314^2}{4\pi \times \sqrt{2} \times 73} = 269,80W$$

Cette puissance sera dissipée sur dans les deux niveaux de l'étage de sortie, donc elle sera divisée par deux, pour augmenter la puissance c'est-à-dire alimenter des charge de puissance élevée, ainsi pour des raisons de fiabilités, nous allons multiplier les niveaux de l'étage de sortie par trois, avec six niveaux, la puissance dissipé dans les transistors sera devisée par six, donc chaque transistor voie une puissance **$P_{TQ}=45W$** , le courant I_{CQ} aussi sera devisé par quatre **$I_{CQ}=0.501A$** .

Remarque :

Les paramètres contraignants des transistors de la moitié du bas, de l'étage de sortie (transistors PNP) sont les même, que ceux de la moitié du haut (transistors NPN).

Les résistances R_{11} , R_{12} , R_{13} et R_{14} évitent l'emballement thermique des transistors Q5, Q6, Q7 et Q8. La valeur de ces résistances se détermine de manière empirique en posant $R_{11}=R_{12}=R_{13}=R_{14}=0.1 \times R_c$.

En résumé les paramètres contraignants les transistors de l'étage de sortie sont les suivants :

- $V_{CEQ \max}=536.03V$.
- $I_{CQ}=0.501A$.
- $P_{TQ\max}=45W$.

Comme tout travail de recherche, des contraintes ce sont mises au travers de notre parcours :

Hormis la tension ($V_{CEQ \max}$), les transistors dont nous disposons remplissent tous les paramètres requis pour le fonctionnement de notre projet. Ce paramètre manquant s'avère très contraignant du moment que nos transistors ne peuvent pas supporter la tension $V_{CEQ\max}=536.03V$.

Chapitre 3 : Calcul, redimensionnement et simulation du circuit amplificateur

De temps plus que les exigences de sécurité et de fiabilité du projet, requièrent un dimensionnement des transistors ayant une tension $V_{CEQ_{max}}$ supérieure ou égale à $V=700V$. Ce qui amplifia d'avantage notre problème.

La nécessité d'utiliser des transistors complémentaire (NPN, PNP), rend notre problème plus épineux vue l'indisponibilité de ces paires de transistors. La disponibilité des transistors NPN seuls, ne remédie en aucun cas à notre problème, en l'absence des transistors de type NPN.

Face à cette problématique, nous avons suggérés deux hypothèses nous permettant de dépasser ce blocage et continuer notre étude :

1. Revoir le calcul et le dimensionnement en basculant totalement vers le transistor mosfet.
2. Réduire la tension d'alimentation ($+V_{cc}$, $-V_{cc}$) puis, redimensionner, simuler et réaliser.

La contrainte du temps nous a amenée inévitablement à infirmer la première hypothèse (basculement vers le mosfet). Il nous reste alors d'adopter la seconde proposition, réduire la tension d'alimentation, comme alternative pour surmonter le problème.

3.6.2.2. Choix de la tension d'alimentation

Le choix de la tension d'alimentation du circuit amplificateur, dépend des transistors de l'étage de sortie, après consultation des catalogues des paires de transistor complémentaire, disponible sur le marché nous avons opté pour une tension d'alimentation $+V_{CC} = 200V$, $-V_{CC} = -200V$.

3.7. Adaptation du circuit amplificateur à la nouvelle tension d'alimentation

La nouvelle tension d'alimentation nous exige de modifier le cahier des charges, afin de commander la même charge. Nous allons définir les nouveaux paramètres du cahier des charges.

Chapitre 3 : Calcul, redimensionnement et simulation du circuit amplificateur

Tableau 3.2 : Nouveau cahier des charges

La charge à alimenter	73 Ω
Tension d'entrée	2 V
Tension de sortie efficace	$V_{\text{Seff}} = \frac{200}{\sqrt{2}} = 141.42\text{V}$
Courant à la sortie	$I_{\text{Seff}} = 1.94\text{ A}$
Puissance de sortie	$P_s = 274,36\text{ W}$
Fréquence	Variable [33 à 1000 HZ]

Remarque :

La puissance peut augmenter jusqu'à 1000W, et la tension de sortie peut être variable, en variant soit le gain, soit la tension d'entrée.

3.7.1 Adaptation de l'étage de sortie

Le calcul de l'étage de sortie, en vue de l'adapter aux nouvelles contraintes définies, se fait de la même manière que précédemment.

- **la tension $V_{\text{CEQ max}}$**

$$V_{\text{CEmax}} = V_{\text{cc}} + V_{\text{Seffmax}} = 200 + 141.42 = 341,42\text{V}.$$

- **Le courant maximum I_{CQ} du collecteur**

$$I_{\text{CQ}} = I_{\text{Seff}} = I_{\text{ch}} = 1.94\text{A}.$$

- **La puissance maximum dissipée par le transistor**

$$P_T = \frac{3.55 \times V_{\text{CC}}^2}{4\pi \times \sqrt{2} \times R_L} = P_T = \frac{3.55 \times 200^2}{4\pi \times \sqrt{2} \times 73} = 109,50\text{W}$$

Avec les nouvelles contraintes calculées, l'étage de sortie (amplificateur classe AB push-pull) sera composé de deux niveaux. En effet le courant I_{CQ} et la puissance dissipée P_T seront divisés par deux.

Le tableau suivant résume les paramètres contraignants les transistors de l'étage de sortie, ainsi les paramètres et les références des transistors à utiliser.

Chapitre 3 : Calcul, redimensionnement et simulation du circuit amplificateur

Tableau 3.3 : paramètres contraignants des transistors de l'étage de sortie

Contrainte calculés	Référence du transistor		Paramètres du transistor
	NPN (Q5, Q6)	PNP (Q7, Q8)	
$V_{CEmax} = 341.42V$ $I_{CQ} = 1.94/2 = 0.97A$ $P_{TQ} = 54.75W$	MJE13007	MJE5852	$V_{CEmax} = 400V$ $I_{CQmax} = 8A$ $P_{TQ} = 80 W$ $\beta = 40$

3.7.2. Adaptation de l'étage préamplificateur :

Un amplificateur de classe AB push-pull, sert de liaison entre l'étage de sortie et l'étage amplificateur en tension (driver). Cet étage permet de stabiliser l'ampli à ce niveau et permet de commander en courant l'étage de sortie.

Le courant de collecteur des transistors de cet étage (Q3, Q4), n'est rien d'autre que le courant de base des transistors de l'étage de sortie (Q5, Q6 et Q7, Q8), la détermination des transistors de l'étage de sortie, nous permettra de calculer aisément le courant de collecteur de cet étage.

$$I_{CQ3max} = \frac{I_{ch}}{\beta} = \frac{1.94}{40} = 0.0485A = 48,5 \text{ mA.}$$

$$I_{CQ4max} = -48.5 \text{ mA.}$$

La puissance maximale dissipée dans les transistors de cet étage est inférieur ou égale au rapport entre la puissance dissipée dans les transistors de l'étage de sortie et β

$$P_{TQ3max} \leq \frac{P_T}{\beta} = \frac{109,50}{40} = 2.38W.$$

$$P_{TQ4max} = \frac{109,50}{40} = 2.38W.$$

La tension maximale de la jonction collecteur-émetteur V_{CEmax} que doit supporter les transistors (Q3, Q4) est la même que celle de l'étage de sortie

$$V_{CEQ3max} = 341,42V.$$

Chapitre 3 : Calcul, redimensionnement et simulation du circuit amplificateur

$$V_{CEQ4 \max} = -341.42V.$$

En résumé les paramètres contraignant les transistors de l'étage préamplificateur, sont illustrés dans le tableau suivant

Tableau 3.4: paramètres contraignants des transistors Q3 et Q4

Contrainte calculés	Référence du transistor		Paramètres du transistor
	NPN (Q3)	PNP (Q4)	
$V_{CE\max} = 341.42V$ $I_{CQ} = 48.5 \text{ mA}$ $P_{TQ} = 2.38 \text{ W}$	NTE2530	NTE2531	$V_{CE\max} = 400V$ $I_{CQ\max} = 2 \text{ A}$ $P_{TQ} = 4W$ $\beta = 40$

3.7.3 Adaptation de l'étage amplificateur en tension

Comme nous l'avons mentionné, il s'agit de l'étage clé de l'amplificateur, non seulement il permet d'amplifier la tension d'entrée, la polarisation des étage de sortie et de l'étage préamplificateur se fait au niveau de cet étage, la figure 3.3 montre la structure de cet étage.

C'est la structure d'un amplificateur classe A, les résistances R5 et R6 montées en série constitue la résistance du collecteur, elle joue un rôle important dans l'amplification de la tension, dans le premier chapitre nous avons montré l'importance de cette résistance. La

formule générale du gain en tension s'écrit $A_v = \frac{R_C}{r_e}$ avec :

R_C : la résistance du collecteur.

r_e : la résistance interne de l'émetteur, due au signal alternatif d'entrée, $r_e = \frac{V_{bQ2}}{I_{eQ2}}$

Remarque : V_b et I_e sont des grandeurs alternatives.

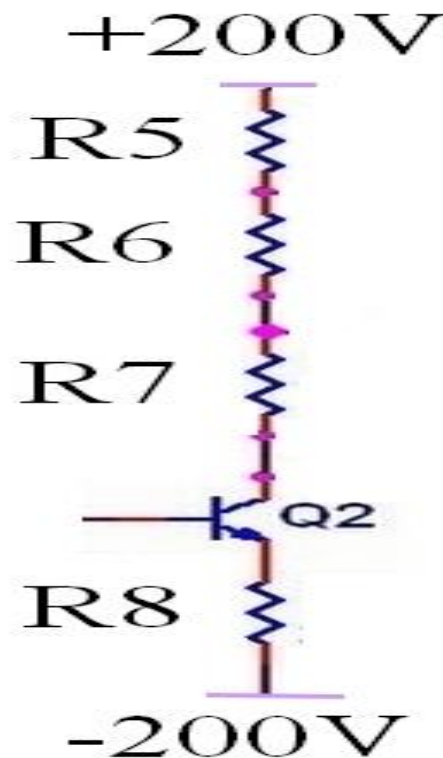


Figure 3.3 : structure de l'étage amplificateur en tension.
Source : Cahier des charges.

Par contre la résistance R7 doit avoir à ses bornes une tension $V_{R7}=1.8V$, afin de polariser correctement l'étage de sortie. Le calcul de R7 se fait aisément en utilisant le diviseur de tension :

$$V_{R7} = \frac{R7}{R7+R5+R6} \times V_{CC}$$

$$R7 = \frac{-V_{R7} \times (R5+R6)}{V_{R7}-V_{CC}} = 112.61\Omega$$

Le courant dans Q2 doit être fixé entre 15mA et 20mA, la résistance R4 et les diodes D1, D2 servent à limiter le courant dans Q2, la tension aux bornes de D1 et D2 ne doit pas excéder 1.2V ce qui impose la tension aux borne de R8 a 0.6V.

Pour calculer la puissance maximale dissipée dans le transistor Q2, nous devons calculer la puissance maximale fournie par l'alimentation et la puissance utile.

Chapitre 3 : Calcul, redimensionnement et simulation du circuit amplificateur

➤ **La puissance maximale fournie P_f**

$$P_f = \frac{V_{CC}^2}{2R_C}$$

$$R_c = R_5 + R_6 = 12400.$$

$$V_{CC} = 400V.$$

$$P_f = 6.45W.$$

➤ **La puissance utile**

$$P_u = V_{CC}^2/4R_C + V_{smax}^2/2R_C$$

$$V_{smax} = 200V$$

$$P_{umax} = 4.83W$$

➤ **La puissance maximale dissipée dans le transistor Q2**

C'est la différence entre la puissance fournie et la puissance utile.

➤ **$P_T = P_f - P_u = 6.45 - 4.83 = 1.62W$**

Le tableau suivant résume les paramètres contraignant le transistor Q2.

Tableau 3.5 : paramètres contraignants des transistors Q3 et Q4

Contrainte calculés	Référence du transistor	Paramètres du transistor
	Q2 NPN	
$V_{CEmax} = 400V$ $I_{CQ} = 20mA$ $P_{TQ} = 1.62W$	2SC937 ou BUX85	$V_{CEmax} = 500V$ $I_{CQmax} = 2.5 A$ $P_{TQ} = 22W$ $\beta = 8$

3.7.4 Adaptation de l'étage d'entrée

Nous déterminons uniquement les paramètres contraignant le transistor Q1 et nous calculons le filtre RC d'entrer, pour déterminer la fréquence de coupure, les résistances R4 et R3 permettent de calculer le gain de l'amplificateur, pour varier le gain il suffit d'ajuster R3.

Chapitre 3 : Calcul, redimensionnement et simulation du circuit amplificateur

- Le courant I_{CQ1} n'est rien d'autre que le courant de base de transistor Q2

$$I_{CQ1\max} = I_{CQ2}/\beta_{(Q2)}$$

$$I_{CQ1\max} = 2.5\text{mA}$$

- La puissance dissipée dans le transistor Q1

$$P_{TQ1} = P_{TQ2}/\beta_{(Q2)}$$

$$P_{TQ1} = 202.5\text{mW}$$

- La tension $V_{CEQ1\max} = 400\text{V}$

- Calcul de la fréquence de coupure du filtre d'entrée

La figure 3.4 illustre le filtre d'entrée.

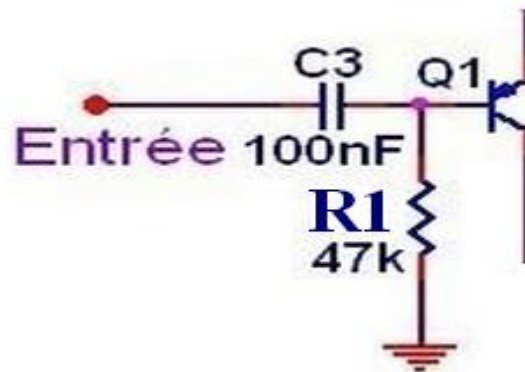


Figure 3.4 : le filtre d'entrée

Source : Cahier des charges

La capacité C3 et la résistance R1 forment un filtre passe haut, la fréquence de coupure est déterminée par la formule suivante :

$$f_0 = \frac{1}{2\pi RC} \quad (1.26)$$

$$f_0 = \frac{1}{2 \times \pi \times 47 \cdot 10^3 \times 220 \cdot 10^{-9}} = 15.39\text{Hz}$$

- Le gain G de l'amplificateur

Le gain est donné :

$$G = 1 + \frac{R4}{R3} = 1 + \frac{10000}{330} = 31,30$$

Chapitre 3 : Calcul, redimensionnement et simulation du circuit amplificateur

La tension d'entrée V_{en} qui nous permettra d'avoir la tension de sortie V_{smax} maximale, se détermine par la relation suivante : $V_{smax} = G \times V_{en}$

La tension de sortie maximale est connu $V_{smax} = 200V$ donc :

$$V_{en} = 200 / 31,30 = 6,39V.$$

Remarque :

V_{en} ne doit jamais dépasser 6.39V avec un gain $G=31.30$.

En fonction de la tension d'entrer et la tension de sortie, R3 est ajustable.

3.8. Simulation du circuit amplificateur avec les nouveaux paramètres

Avant de simuler le circuit amplificateur nous allons résumer les paramètres calculés.

➤ Les paramètres de l'étage d'entrée

- ✓ $C3 = 220 \text{ nF}$.
- ✓ $C2 = 22 \text{ } \mu\text{F}$
- ✓ $R1 = 47000 \text{ } \Omega$.
- ✓ $R4 = 10000 \text{ } \Omega$.
- ✓ $R3 = 330 \text{ } \Omega$.
- ✓ $V_{enmax} = 6.39 \text{ V}$.
- ✓ Q1 : MPSA92

➤ Les paramètres de l'étage amplificateur en tension

- ✓ $R5 = 5600 \text{ } \Omega$.
- ✓ $R6 = 6800 \text{ } \Omega$.
- ✓ $R7 = 113 \text{ } \Omega$.
- ✓ $R8 = 33 \text{ } \Omega$
- ✓ $C4 = 47 \text{ } \mu\text{F}$
- ✓ $C5 = 220 \text{ } \mu\text{F}$
- ✓ Q2 = 2SC937 ou BUX85

➤ Les paramètres de l'étage préamplificateur

- ✓ Q3 : NTE2530
- ✓ Q4 : NTE2531
- ✓ $R9 = R10 = 150 \text{ } \Omega$
- ✓ $C6 = C7 = 4,7 \text{ nF}$

Chapitre 3 : Calcul, redimensionnement et simulation du circuit amplificateur

- **Les paramètres de l'étage de sortie**
 - ✓ Q5, Q6 : MJE13007.
 - ✓ Q7, Q8 : MJE5852.
 - ✓ $R11 = R12 = R13 = R14 = 7 \Omega$.
- **Tension d'alimentation du circuit amplificateur**
 - ✓ $+V_{cc} = 200V$
 - ✓ $-V_{cc} = -200V$
- **Les diodes**
 - ✓ D1, D2 : 1N4148.
 - ✓ D3, D4 : 1N5404
- **La simulation**

Les résultats de simulation sont illustrés dans la figure 3.4, notre but c'est d'avoir une tension sinusoïdale à la sortie, qui est fonction de la tension d'entrée.

En utilisant la relation $V_s = G \times V_{en}$, pour calculer la tension de sortie en fonction de la tension d'entrée, si la tension V_s mesurée ne doit pas excéder sa valeur calculer.

- **La tension d'entrer**

Nous avons utilisé une tension d'entrée $V_{en}=5V$.

- **La tension maximale de sortie**

$$V_s = 31.30 \times 5 = 156.5V.$$

La tension de sortie maximale mesurée peut être légèrement inférieure à la valeur calculée car les transistors présentent une faible chute de tension V_{CE} .

Chapitre 3 : Calcul, redimensionnement et simulation du circuit amplificateur

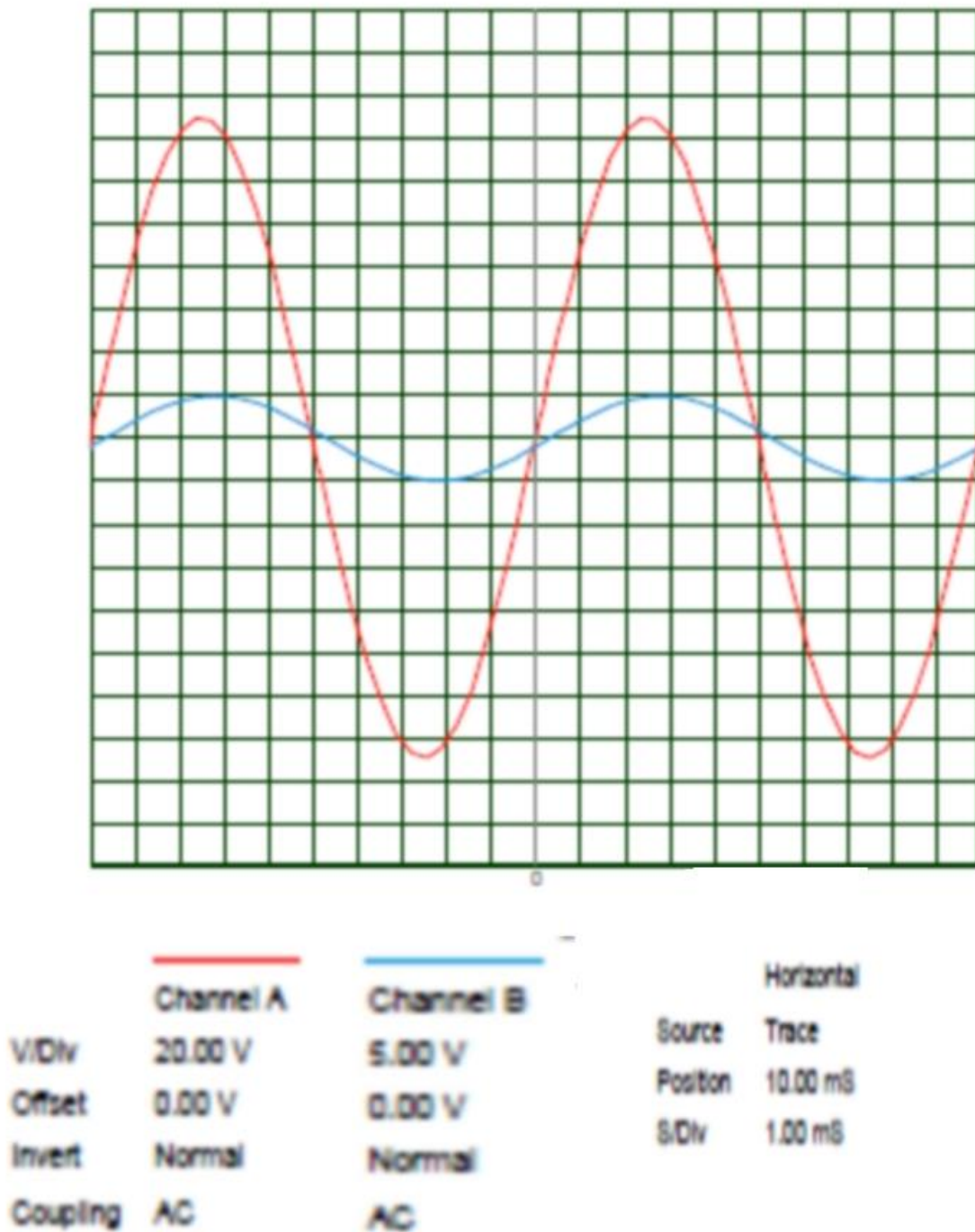


Figure 3.5 : résultats de simulation (tension d'entrée et la tension de sortie).
Source : ISIS PROTEUS (résultat de la simulation)

Chapitre 3 : Calcul, redimensionnement et simulation du circuit amplificateur

Parti de la figure 3.5, la tension d'entrée de l'amplificateur et la tension de sortie peuvent être déterminé, en s'appuyant sur les paramètres de l'oscilloscope.

➤ **Paramètre du canal A (tension de sortie en rouge)**

- ✓ Base de la tension (vertical) 20 V/DIV.
- ✓ Base de temps horizontale 1 mS/DIV.
- ✓ la tension de sortie $V_s = 20 \times 7.4 = 148V$.
- ✓ la fréquence de sortie $f_s = 1/0.01 = 100$ Hz.

➤ **Paramètre du canal B (tension d'entrée en bleu)**

- ✓ Base de la tension (vertical) 5 V/DIV.
- ✓ Base de temps horizontale 1 mS/DIV.
- ✓ la tension de sortie $V_{en} = 5V$.
- ✓ la fréquence du signal d'entrée $f_{en} = 100$ Hz.

➤ **Interprétations des résultats de simulation :**

Comme prévu, la tension de sortie mesurée est légèrement inférieure à la tension calculée, nous constatons une chute de tension de l'ordre de 7.5V, cette tension est justifier en considérant la tension V_{CE} de la jonction collecteur-émetteur des transistors, sinon les résultats sont satisfaisant.

3.9. Conclusion

La finalité du chapitre ci-dessus était de calculer, redimensionner et simuler le circuit amplificateur. Lequel fonctionnant à 70V comme il a été convenu dans le cahier des charges. Notre contribution avait portée sur le redimensionnement du circuit amplificateur pour atteindre une valeur maximale de 314V.

Au cours de notre calcul, nous étions confrontés à d'énormes difficultés (indisponibilité des transistors NPN, PNP complémentaires, impossibilité de basculer vers le mosfet vue la contrainte du temps...etc.) nous ayons empêché de mener à terme nos objectifs préalables.

Pour y remédier, nous avons décidé de descendre à 200V vue la disponibilité des transistors nécessaires à l'étude. Nous avons aussitôt étudié et redimensionné à 200V, puis simulé. Le redimensionnement de l'amplificateur n'a pas touché l'ensemble des paramètres à défaut d'affecter le principe de base du fonctionnement de l'amplificateur.

Chapitre 3 : Calcul, redimensionnement et simulation du circuit amplificateur

Les résultats de la simulation ce sont avérés satisfaisants, nous pouvions donc passer directement à la réalisation. Mais au cours de la réalisation, l'indisponibilité des transistors nécessaires au fonctionnement de l'amplificateur perturba encore notre travail de réalisation.

CHAPITRE

4

4.1. Introduction

Le titre de ce chapitre parle de lui-même. Nous passons à l'étape de réalisation pratique du circuit imprimé de l'amplificateur. Ce chapitre donne un petit aperçu sur la méthode de réalisation du circuit imprimé, en effet la simplicité des méthodes que nous avons adoptés, ne pèsent pas sur leur pertinence.

Comme mentionné dans le chapitre trois ci-dessus, des contraintes de moyens matériels nous ont amené à réorienter légèrement notre étude. En dépit de l'indisponibilité des transistors qui présentent les caractéristiques requises par le bon fonctionnement du circuit amplificateur, la réalisation s'est conformée aux conditions de disponibilité du matériel notamment : des transistors.

Après plusieurs investigations sur le marché des composants électroniques, nous avons constaté le manque atroce des transistors prédisposés pour la réalisation fixée préalablement. Pour faire face à cette situation, nous insistons encore que nous étions dans l'obligation, de réaliser le circuit amplificateur en utilisant les transistors disponibles.

4.2. Réalisation de la maquette

4.2.1 Matériels utilisés

- ✓ Une insoleuse UV
- ✓ Plaques de circuits imprimés photo-sensibilisés positives
- ✓ Révélateur positif (sachet de poudre à diluer).
- ✓ Du perchlorure de fer (granulés à diluer).
- ✓ Du nettoyant dégraissant.
- ✓ une imprimante laser
- ✓ une perceuse.
- ✓ Forets (0,7 - 0,8 - 1 - 1,2 ... mm).
- ✓ Gants fins.
- ✓ Ohmmètre

4.2.2 circuit imprimé

Un circuit imprimé (ou PCB de l'anglais printed circuit board) est un support, en général une plaque, permettant de maintenir et de relier électriquement un ensemble de composants électroniques entre eux, dans le but de réaliser un circuit électronique complexe. On le désigne aussi par le terme de carte électronique. Il est composé de trois couches distinctes, voir figure 4.1

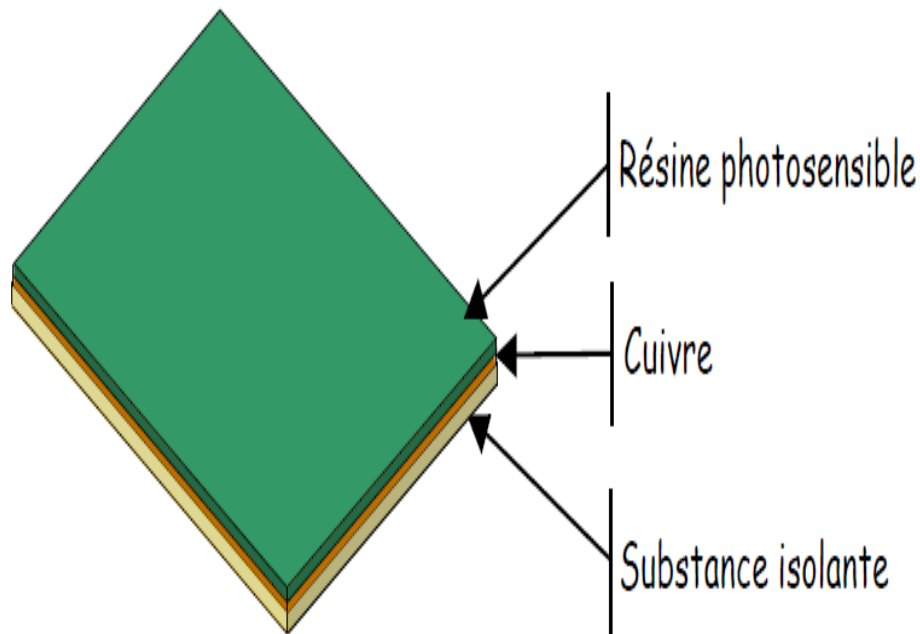


Figure 4.1 : plaque du circuit imprimé

La figure 4.1 illustre les trois couches qui composent la plaque du circuit imprimé qui sont :

- ✓ La première couche est une résine sensible aux rayonnements ultra-violets.
- ✓ La deuxième est une fine couche de cuivre.
- ✓ La troisième couche est constituée d'une substance isolante à la chaleur.

4.3. Les étapes de réalisation de la maquette

Différentes méthodes de réalisations existent, nous illustrons les étapes de réalisations, suivant la méthode pour laquelle nous avons opté.

4.3.1. Impression du masque

Le tracé du circuit imprimé a été réalisé sur une feuille transparente, avec une encre noir opaque à l'aide d'une imprimante laser. Cette feuille sert de masque ou typon que l'on applique sur la surface pré sensibilisée avant de soumettre la plaque à des rayonnements ultra-violets, figure 4-2

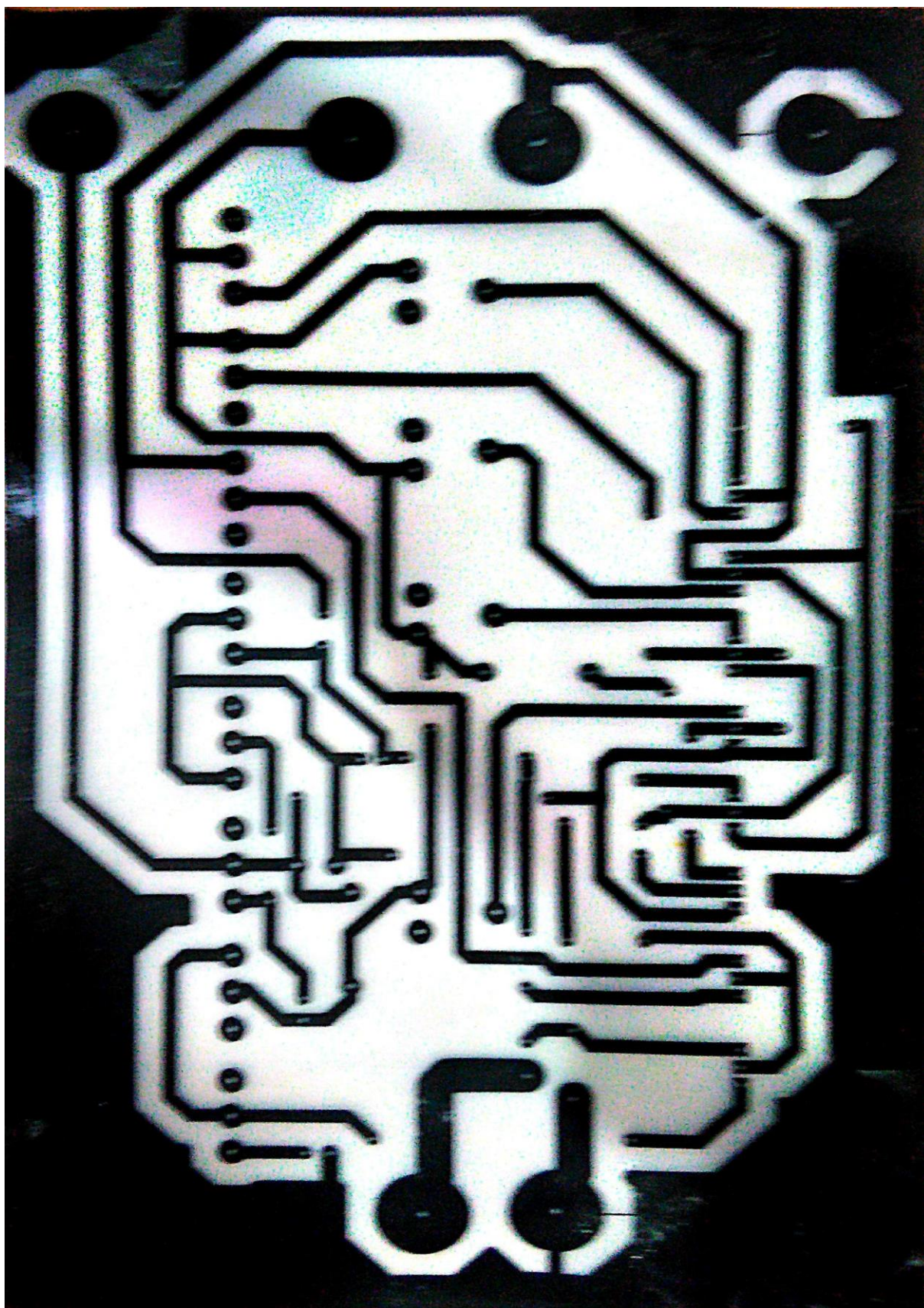


Figure 4.2 : impression du masque

4.3.2. L'insolation et la révélation

Il faut réaliser l'insolation dans un laboratoire pas trop éclairé. nous avons exposé la plaque photo sensible aux rayons ultra-violets après l'avoir recouverte avec le typon pour une période de deux à trois minutes, ainsi la couche protectrice photo sensible sera brûlée et éliminée par les rayons ultra-violets à l'extérieur des piste là où le typon est transparent et demeure intacte sur les pistes là où le typon est opaque

La plaquette est mise dans une cuvette en plastique pour la rincer avec de la potasse. Cette opération permet de faire apparaître le dessin en trait violet sur fond de cuivre. Nous avons retiré la plaque et nous l'avons mise dans l'eau froide pendant une minute ainsi nous avons obtenu une plaque prête pour la gravure, voir Figure (4-3).

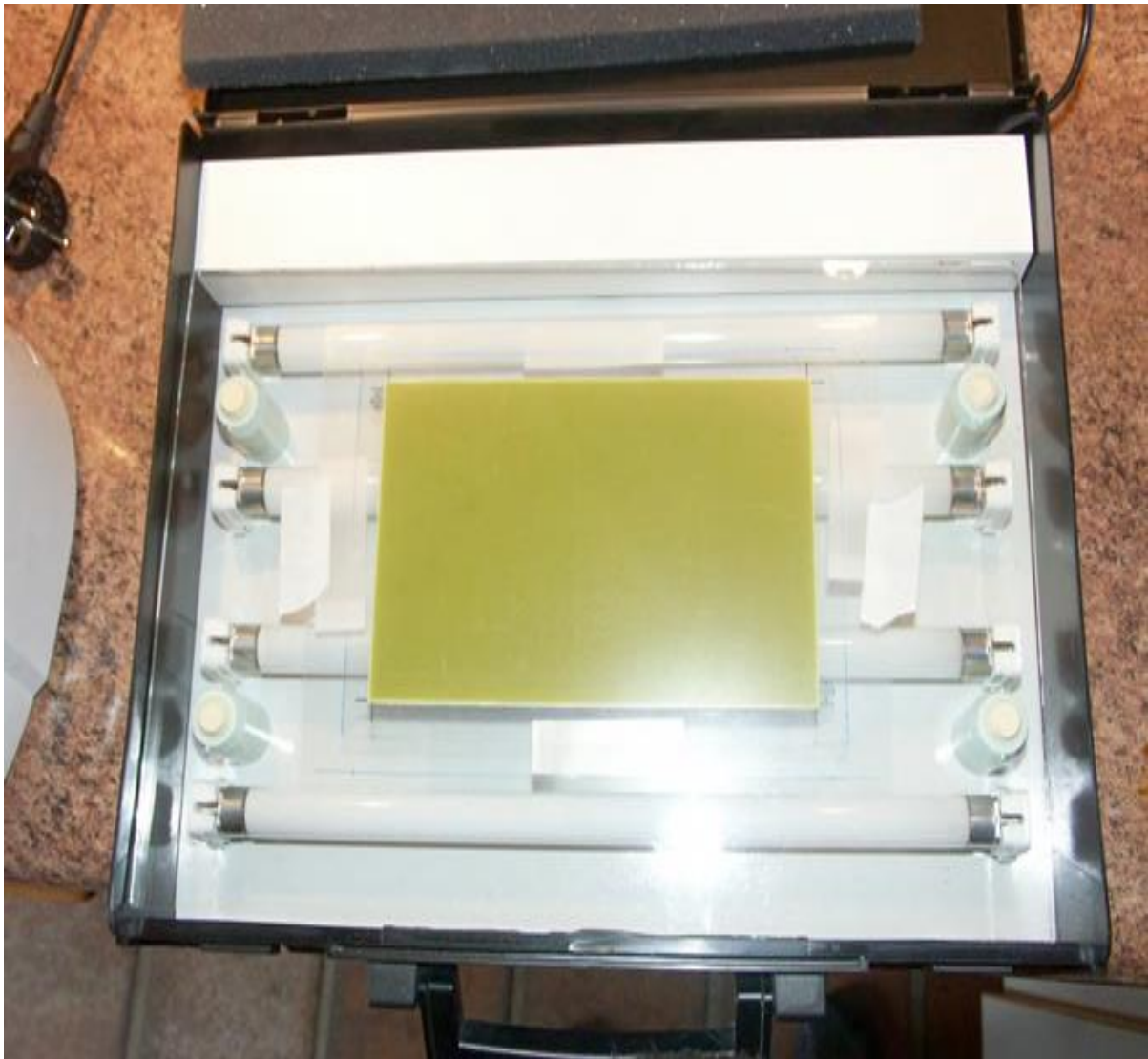


Figure 4.3 : L'insolation et la révélation.

4.2.1. La gravure

Nous plongeons la plaquette dans une solution de perchlorure de fer, cette solution acide attaque alors les régions qui ne sont pas protégées par la résine. On obtient à la fin de l'opération une plaque composée des pistes de cuivre qui correspondent au dessin du circuit imprimé, voir figure (4-4). Pour accélérer le processus de la gravure, la solution de perchlorure peut être chauffée légèrement.



Figure 4.4 : la gravure.

4.2.2. L'étamage

Nous avons trempé la plaque dans un nettoyant dégraissant pendant quelques minutes, afin d'enlever la résine qui reste sur le cuivre, voir figure (4-5)



Figure 4.5 : l'étamage.

4.3. Test des pistes du circuit imprimé

Avant de commencer à souder les composants sur le circuit imprimé, il faut tester la continuité des différentes pistes, à la recherche d'éventuelles coupures qui ne se voit pas à l'œil nu, qui empêche tout de même le passage du courant. Pour tester la continuité des pistes, on utilisera un ohmmètre.

4.4. Le perçage

Pour le perçage, la plaquette est correctement fixée sur un bâti de bois. Toutes les pastilles sont percées à l'aide d'un foret de 0,8 mm de diamètre. Certains trous sont agrandis pour tenir compte du diamètre des files des composants de grande dimensions, voir figure (4.6)

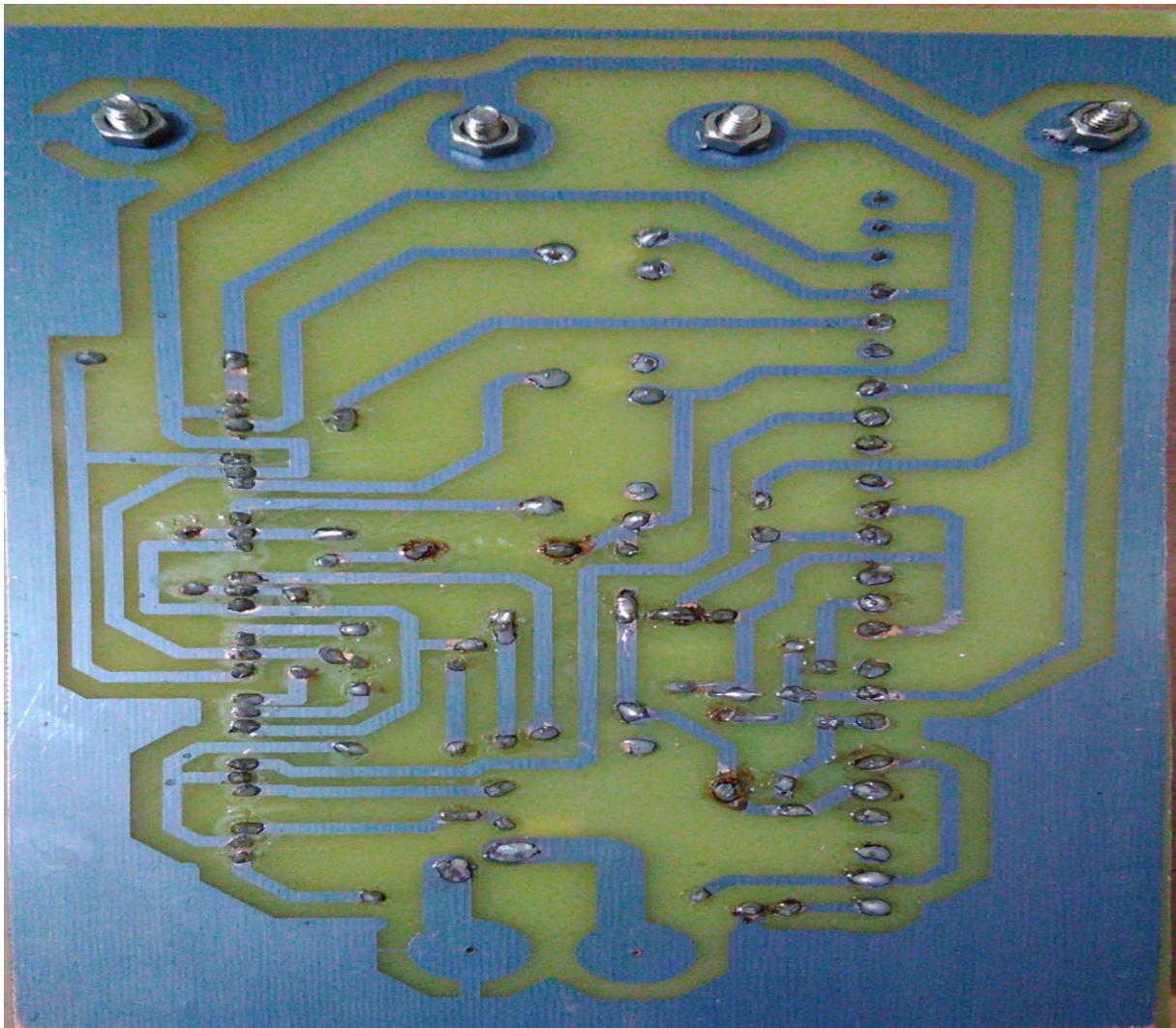


Figure 4.6 : Le perçage

4.5. Implantation des composants et soudage

Toutes les conditions sont réunies pour passer à l'implantation des composants, nous commencerons par souder les composants de petite taille, nous faisons attention aux sens des composants lors du soudage voir figure (4-7). Et nous tenons compte de ces deux paramètres :

- ✓ Les parties à souder doivent être propre
- ✓ Le fer doit être suffisamment chaud avant de le mettre en contact avec les éléments à souder.



Figure 4.7 : implantation des composants et soudage.

4.6. Paramètres électriques du circuit réalisé

Comme nous l'avons dit, les transistors désignent les tensions d'alimentation et le courant, du circuit amplificateur.

- ✓ La tension d'alimentation $V_{cc} = 20V$, $-V_{cc} = -20V$.
- ✓ La tension d'entrée $V_{enmax} = 637mV$.
- ✓ La tension de sortie $V_{smax}=20V$
- ✓ La tension efficace de sortie $V_{Seffmax}=14V$

La résistance R7 doit être redimensionnée, car la tension à ces bornes doit être fixe $V_{R7} = 1.8V$.

$$✓ R7 = \frac{-V_{R7} \times (R5 + R6)}{V_{R7} - V_{CC}} = 7279.12\Omega$$

4.8 Conclusion

Pour conclure le chapitre quatre ayant abordé l'ultime et dernière étape qui est la réalisation, nous pouvons dire que celle-ci nous a permis de pratiquer et de palper concrètement notre projet. A l'issu de cette étape, nous avons pu fréquenter les marchés des composants électroniques. Nous avons aussi découverts les problèmes qui peuvent surgir au cours du travail. Désormais nous serons aptes à prévoir et identifier les problèmes surgissant, lors des interventions sur ce type de projet et autres. Cette réalisation fut pour nous un aperçu de notre future mission professionnelle.

Pour certains, ce projet de réalisation peut paraître inutile, en raison de la réorientation opérée à nos objectifs préfixés. Les contraintes auxquelles nous nous sommes confrontés, nous ont conduits à redescendre à 20V alors que ce projet était destiné pour une application de puissance de tension 340V. Mais nous dirons qu'aucun résultat de recherche n'est inutile.

Nous sommes arrivés à ce stade de travail en réalisant un circuit imprimé, un calcul confirmé. Nous avons produit une maquette et un fonctionnement. Cela peut déjà constituer un point de départ, une base d'appuie à ceux qui nous suivront.

CONCLUSION GENERALE

Soucieux d'explorer quelques volets de l'électronique (une discipline proche de l'électrotechnique), mais dont la différence est palpable. Nous voulions nous investir dans un projet d'étude ou des connaissances en électronique étaient indispensables, pour faire avancer notre travail. Le défi était alors de taille. Nous avons aussitôt engagés des recherches sur les amplificateurs : un domaine d'étude jamais exploré au cours de nos années d'études. La documentation nous a permis de se mettre en plein dans le bain et d'avancer petit à petit.

Dans ce mémoire, nous avons tout d'abord évoqué les généralités sur le fonctionnement des transistors bipolaires comme amplificateurs. Au terme de ce chapitre, nous avons pu acquérir des connaissances sur le principe de fonctionnement des transistors bipolaires. Nous avons aussi pu connaître et faire connaître les amplificateurs de classe A, de classe B, de classe AB.

Nous nous sommes souciés dans un second temps de donner un bref aperçu sur les éléments constitutifs du circuit amplificateur. C'est une étape préliminaire avant de se lancer dans la troisième partie du travail.

Cette troisième partie s'est concentrée sur : le calcul, le dimensionnement et la simulation du circuit amplificateur. Au terme de ce chapitre trois, nous avons dimensionné, redimensionner et simulé le circuit amplificateur. Nous avons pu comprendre que les transistors bipolaires de type (NPN, PNP) réclamaient un fonctionnement complémentaire par paires.

Après cette étape de calcul, dimensionnement et redimensionnement, s'est imposée l'étape de concrétisation des résultats de calcul et de simulation. C'est la réalisation effective du circuit imprimé.

Il est vrai que ce travail de recherche nous a permis de démystifier un volet d'un des aspects de l'électronique : nous avons pu comprendre comment s'effectuait la commande en électronique, ainsi que la manière de faire varier quelques grandeurs (fréquence, tension...etc.). Mais des difficultés ce sont mises au travers de notre parcours. Celles-ci nous ont amenées à réorienter nos recherches et nos décisions : indisponibilité des transistors complémentaires de type (NPN, PNP). Nous étions contraints à ce moment précis de descendre en tension pour surpasser le problème et continuer notre étude.

La présente recherche nous a permis d'infirmer la première hypothèse qui prétendait pouvoir obtenir avec cet amplificateur une tension de sortie de 220V avec une tension d'entrée de 2V, tout en utilisant des transistors bipolaires.

L'exploration de quelques secrets de l'électronique nous a permis de conclure que pour arriver à faire une alimentation sinusoïdale variable en fréquence et en tension, il faut

s'investir sur plusieurs parties notamment : un transformateur élévateur qui pourrait fournir le courant voulu, une alimentation symétrique...etc. alors que nous n'avons ni le temps ni les moyens de s'y investir sérieusement. Nous avons aussi pu déduire grâce à cette recherche l'utilité d'adopter le mosfet pour des applications similaires à celles-ci et nous constatons également les limites du bipolaire.

Nous nous sommes contentés de la réalisation de la partie la plus importante à savoir : l'amplificateur. Ce qui représente un grand pas déjà.

Nous finissons enfin par dire que cette recherche pourrait ouvrir de nouveaux horizons aux futurs étudiants. Un redimensionnement et calcul en basculant vers le mosfet va parfaitement permettre d'atteindre les objectifs préfixés. Ce travail constitue un appui pour ceux qui vont s'investir dans ce sillon de recherches.

BIBLIOGRAPHIE

Livres

- MICHEL GIRARD. AMPLIFICATEUR DE PUISSANCE. Edition : EDISCIENCE international.
- THOMAS L.FLOYD. Electronique, composants et système d'application. Edition Reynald GOULET
- AUMIAUX MICHEL. Electronique ; Amplification Transistor Linéaire. Edition : 2^{ème}.
- MILISANT FRANCIS. Cours d'électronique tome 3.
- MILISANT FRANCIS. Electronique 2 ; Amplification basse fréquence commutation. Paris, Bordas, 1980.
- COEURDACIER.S. Contre réaction ; Amplificateur Opérationnels Haute fréquence ; Signaux ; Transmission.

Internet

- http://subaru.univ-lemans.fr/enseignements/physique/02/cours_elec/puissan.pdf

Autre

- Etablissement Tizi-Tronic. Tizi-ouzou
- Marc Correvon. LES AMPLIFICATEURS DE PUISSANCE. Haute Ecole spécialisée de suisse occidentale.