



N° d'ordre :
N° de série :

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE D'EL-OUED
FACULTE DES SCIENCES ET TECHNOLOGIE
Département D'électronique

Mémoire de fin d'étude présenté
Pour l'obtention du diplôme de

Licence ACADEMIQUE

Domaine : **Sciences et techniques**
Filière : **Electronique**
Spécialité : **Télécommunications**

Présenté par : NEFIDI Taki Eddine

MERAGHNI EL-Bachir

Etude et réalisation des différentes classes d'amplification

Déposé le 03-06- 2014

M. TOUHAMI Ridha

Directeur du mémoire

2013-2014

Remerciement :

Nous Commençons tous d'abord, par adresser nos remerciements les plus sincères à notre promoteur de recherche Mr. R. Touhami pour nous avoir proposé ce sujet très intéressant.

Cette réalisation n'a pu être menée à bien qu'en grande partie grâce à son amabilité et sa coopération. Nous lui sommes également reconnaissant pour sa disponibilité sans faille et son dynamisme durant la durée entière de cette mémoire et pour les compétences scientifiques et pédagogiques de son encadrement sans lesquelles ce travail n'aurait pas vu le jour. Nous remercions également Mr S. Mehelou et M. Boulila pour leurs excellents conseils techniques.

Nos remerciements s'adressent aussi aux collègues avec qui nous avons partagé la section

Pour terminer, Un grand remerciement à nos parents et ainsi que nos familles pour les soutiens.

Dédicace :

Nous dédions ce modeste travail:

Nos parents. Que Dieu leur donner une bonne santé et longue vie.

Pour nos frères et sœurs,

Pour tous les membres de la famille et des amis,

Et à tous ceux qui ont contribué à la réalisation de ce mémoire et nous

leur disons merci.

Résumé (Fr-Ar) :

Dans la télécommunication l'amplificateur de puissances sont des éléments nécessaire à l'émetteur pour assurer la transmission de signaux, l'amplificateur est un système électronique pour augmenter la tension et / ou la courant d'un signal électrique.

Les amplificateurs de puissance sont utilisé selon sont caractéristique (Puissance, Rendement, gain, linéarité, Stabilité), ils sont classé avec quatre classes fondamentaux (A, B, AB, C). Les PA de classe A sont les amplificateurs linéaires les plus fidèles. Leur rendement est toutefois tellement faible et les amplificateurs de classe A sont généralement utilisés pour réaliser des étages préamplificateurs. Les PA classe B et classe AB sont de loin les amplificateurs les plus utilisés. Leur rendement est très bon et ils peuvent aisément fournir des puissances de sortie élevées. L'amplificateur est constitué d'un étage de sortie comportant deux transistors complémentaires. On retrouve des amplificateurs de classe B ou AB de type push-pull dans les générateurs de fonction, les amplificateurs en circuits intégrés, ainsi que dans l'étage de sortie de la majorité des amplificateurs audio. Les PA classe C sont des amplificateurs non-linéaires à très haut rendement. Ils ne sont toutefois utilisables que dans les amplificateurs Haut fréquence (émetteur radio).

في الاتصالات السلكية واللاسلكية مضخم الإستطاعة عنصر ضروري في المرسل لضمان عملية إرسال الإشارات الكهربائية، المضخم عبارة عن دائرة إلكترونية تقوم بتضخيم الإشارات وعملية التضخيم تكون لتوتر الإشارة أو تيار الإشارة أو كليهما معا.

مضخمات الإستطاعة تستخدم حسب خصائصها (الإستطاعة , المردود, الزيادة, الإستقرار , الخطية) , مضخمات الإستطاعة تصنف إلى أربعة أقسام (A, B, AB, C). إن مضخمات الاستطاعة صنف A هي المضخمات الخطية التي تضمن عمل المضخم على كامل الدور وهي ذات مردود ضعيف ومضخمات الاستطاعة صنف A عادة ما تستعمل في المرحلة الأخير من قبل التضخيم. المضخمات صنف B و الصنف AB هي المضخمات الأكثر استعمالا. مردودهما جيد جدا و يمكنها بسهولة إنتاج إستطاعة عالية يضم المضخم صنف B و AB في قسم الخروج ترانزستورين متكاملين ونجد المضخمات صنف B وصنف AB (push-pull) في المولدات التطبيقية و المضخمات الخاصة بالدارات المتكاملة وأيضا في أغلب الأقسام الأخيرة من مضخمات الصوت. المضخمات صنف C هي مضخمات غير خطية بمردود عال جدا, ومع ذلك فإنه يتم إستخدامها الا في المضخمات عالية التردد (جهاز لاسلكي).

Abstract:

In telecommunication power amplifier is an important element in the transmitter for the transmission of signals, the amplifier is an electronic system for increasing the voltage and/or current of an electrical signal.

Power amplifiers are used according to their characteristic (power , efficiency , gain , linearity , stability) ,they are classified as four basic classes (A , B , AB , C). PA class A is the most faithful linear amplifier. However, there performance is so small, and class A amplifier are typically used to make floors preamplifiers .PA class B and class AB are by far the most used amplifiers. Their performance is very good and they can easily provide higher outputs. The amplifier comprises an output stage comprising two complementary transistors. Amplifier class B or AB (Push-Pull) are used in function generators include amplifiers integrated circuits as well as the output stage of the majority of audio amplifiers. PA class C is non- linear amplifier with very high performance, they are used only in high frequency amplifier (radio transmitter).

Table des matières:

Remerciements.....	I
Dédicace.....	II
Résume (Fr, Ar)	III
Abstract.....	V
Table des matières.....	VI
Liste des figures.....	X
Liste des tableaux.....	XII
Abréviations et acronymes.....	XIII
Introduction générale.....	1
 Chapitre I : L'amplification dans la télécommunication	
I.1 Introduction.....	3
I.2 Système de télécommunication.....	3
I. 2-1 Définition.....	3
I. 2-2 Technique des télécommunications	4
I. 2-3 Les obstacles de télécommunication	6
I.3 Les amplificateurs de puissance dans un système de transmission	7
I. 3-1 Les différents types d'amplificateurs dans une chaîne de transmission.....	7
I. 3-2 L'importance de PA dans un système de télécommunication.....	9
I.4 Les inconvénients de PA à la télécommunication.....	9
I. 4-1 Les distorsions.....	9
I. 4-2 Les bruits.....	11
I.5 Conclusion	14

Chapitre II : Différents Classes d'amplificateur de puissance

II. 1	<i>Introduction.....</i>	16
II. 2	<i>L'amplificateur de puissance</i>	16
	II. 2-1 Définition	16
	II. 2-2 Principe d'amplification	16
	II. 2-3 Types d'amplificateurs de puissances.....	17
II. 3	<i>Caractéristique d'un amplificateur de puissance.....</i>	17
	II. 3-1 Puissance.....	18
	II. 3-2 Gain	19
	II. 3-3 Rendement	20
	II. 3-4 Linéarité	21
	II. 3-5 Stabilité	21
II. 4	<i>Classes d'amplificateur de puissance</i>	22
	II. 4-1 Amplificateur classe A	22
	II. 4-2 Amplificateur Push-Pull (B-AB).....	26
	II. 4-3 Amplificateur classe C.....	32
	II. 4-4 Amplificateur classe D.....	36
	II. 4-5 Amplificateur classe E.....	37
	II. 4-6 Amplificateur classe F.....	38
	II. 4-7 Les autres classes d'amplificateurs.....	39
II. 5	<i>Conclusion</i>	39

Chapitre 3 : Réalisations des différentes classes de PA

III. 1	<i>Introduction.....</i>	41
III. 2	<i>Réalisation d'amplificateur classe A</i>	42
	III.2-1 Circuit utilisé	42
	III.2-2 Les composent et matériels utilises	43
	III.2-3 Partie pratique	43
	III.2-4 Partie théorique	46
	III.2-5 Partie simulation	47
III. 3	<i>Réalisation d'amplificateur classe B.....</i>	50
	III.3-1 Circuit utilisé	50
	III.3-2 Les composent et matériels utilises	51
	III.3-3 Partie pratique	51
	III.3-4 Partie simulation	55
III. 4	<i>Réalisation d'amplificateur classe AB.....</i>	57
	III.4-1 Circuit utilisé	57
	III.4-2 Les composent et matériels utilises	58
	III.4-3 Partie pratique.....	58
	III.4-4 Partie simulation	62
III. 5	<i>Réalisation d'amplificateur classe C.....</i>	64
	III.5-1 Circuit utilisé	64
	III.5-2 Les composent et matériels utilises	65
	III.5-3 Partie pratique.....	65
	III.5-4 Partie simulation	68
III. 6	<i>Fabrication d'amplificateur de puissance classe A.....</i>	70
III. 7	<i>Conclusion</i>	72

<i>Conclusion générale.....</i>	73
<i>Annexe.....</i>	74
<i>Références bibliographiques.....</i>	77

Liste des figures :

Figure 1.1	Structure de télécommunication	3
Figure 1.2	Système d'émission-réception	4
Figure 1.3	Structure fonctionnelle des émetteurs	4
Figure 1.4	Structure fonctionnelle des récepteurs – récepteur superhétérodyne	6
Figure 1.5	Bande passante a -3 dB	9
Figure 1.6	La distorsion harmonique de l'amplificateur	10
Figure 1.7	Effet du bruit sur un signal	11
Figure 1.8	Modélisation du bruit thermique pour une résistance	12
Figure 1.9	Modélisation du bruit thermique pour un semi-conducteur	13
Figure 2.1	Schéma de principe d'un amplificateur	16
Figure 2.2	Bilan de puissance général d'un amplificateur	18
Figure 2.3	Amplificateur class A	22
Figure 2.4	Point de repos d'un amplificateur class A	23
Figure 2.5	Fonctionnement d'un amplificateur class A	23
Figure 2.6	Amplificateur class B	26
Figure 2.7	Point de repos d'un amplificateur class B	27
Figure 2.8	Fonctionnement d'un amplificateur class B	27
Figure 2.9	Amplificateur class AB	29
Figure 2.10	Point de repos d'un amplificateur class AB	30
Figure 2.11	Fonctionnement d'un amplificateur class AB	30
Figure 2.12	Amplificateur class C	32
Figure 2.13	Point de repos d'un amplificateur class C	33
Figure 2.14	Fonctionnement d'un amplificateur class C	33
Figure 2.15	L'angle de conduction d'amplificateur classe C	34
Figure 2.16	Amplificateur class D	36
Figure 2.17	Amplificateur class E	37
Figure 2.18	Amplificateur class F	38
Figure 3.1	Schéma d'amplificateur classe A	42
Figure 3.2	Schéma d'amplificateur class A réalisé dans la plaque d'essai	43
Figure 3.3	Les caractéristiques du signal d'entrée d'amplificateur classe A	44
Figure 3.4	Signaux visualise d'amplificateur classe A par l'oscilloscope	44
Figure 3.5	Schéma statique d'amplificateur classe A	46
Figure 3.6	Droit de charger statique d'amplificateur classe A	46

Figure 3.7	Schéma dynamique d'amplificateur classe A	46
Figure 3.8	Signal d'sortie d'amplificateur classe A tracé par le Matlab	47
Figure 3.9	Circuit d'amplificateur classe A simule	47
Figure 3.10	Les valeurs de simulation courant et de tension pour la classe d'amplificateur A	48
Figure 3.11	Signaux visualise de PA classe A par simulation	48
Figure 3.12	Schéma d'amplificateur classe B	50
Figure 3.13	Schéma de classe B réalisé dans la plaque d'essai	51
Figure 3.14	Les caractéristiques du signal d'entrée d'amplificateur classe B	52
Figure 3.15	Signaux visualise d'amplificateur classe B par l'oscilloscope	52
Figure 3.16	Signal d'sortie d'amplificateur classe B tracé par le Matlab	54
Figure 3.17	Caractéristique de transfère d'amplificateur classe B tracé par Matlab	54
Figure 3.18	Circuit d'amplificateur classe B simule	55
Figure 3.19	Les valeurs de simulation courant et de tension pour la classe d'amplificateur B	55
Figure 3.20	Signaux visualise d'amplificateur classe B par simulation	56
Figure 3.21	Schéma d'amplificateur classe AB	57
Figure 3.22	Schéma d'amplificateur classe B réalisé dans la plaque d'essai	58
Figure 3.23	Les caractéristiques du signal d'entrée d'amplificateur classe AB	59
Figure 3.24	Signaux visualise d'amplificateur classe AB par l'oscilloscope	59
Figure 3.25	La caractéristique du dipôle équivalent	60
Figure 3.26	Caractéristique de transfert d'amplificateur classe AB tracé par Matlab	61
Figure 3.27	Signal d'sortie d'amplificateur classe AB tracé par le Matlab	61
Figure 3.28	Circuit d'amplificateur class AB simule	62
Figure 3.29	Les valeurs de simulation courant et de tension pour la classe d'amplificateur AB	62
Figure 3.30	Signaux visualise d'amplificateur classe AB par simulation	63
Figure 3.31	Schéma d'amplificateur classe C	64
Figure 3.32	Schéma d'amplificateur classe C réalisé dans la plaque d'essai	65
Figure 3.33	Les caractéristiques du signal d'entrée d'amplificateur classe C	66
Figure 3.34	Signaux visualise d'amplificateur classe C par l'oscilloscope	66
Figure 3.35	L'angle de conduction d'amplificateur classe C	67
Figure 3.36	Circuit d'amplificateur classe C simule	68
Figure 3.37	Les valeurs de simulation courant et de tension pour la classe d'amplificateur C	69
Figure 3.38	Signaux visualise d'amplificateur classe C par simulation	69
Figure 3.39	Circuit de PA classe A fabriqué	70
Figure 3.40	Signaux visualise d'amplificateur classe A (Fabriqué) par l'oscilloscope	71

Liste des tableaux :

Tableau 2.1	Les fondamentaux caractéristiques des amplificateurs classes (A, B, AB, C)	39
Tableau 3.1	Les caractéristiques des signaux de PA classe A visualise par l’oscilloscope	44
Tableau 3.2	Les valeurs mesurées pour amplificateur classe A	43
Tableau 3.3	Les valeurs calculées pour amplificateur classe A	43
Tableau 3.4	Les calculs théoriques pour amplificateur classe A (schéma statique)	46
Tableau 3.5	Les caractéristiques des signaux de PA classe A tracé par le Matlab	47
Tableau 3.6	Les calculs théoriques pour amplificateur classe A (schéma dynamique)	47
Tableau 3.7	Les valeurs de simulation pour amplificateur classe A	49
Tableau 3.8	Les calculés des valeurs de simulation pour amplificateur classe A	49
Tableau 3.9	Les caractéristiques des signaux de PA classe B visualise par l’oscilloscope	52
Tableau 3.10	Les valeurs mesurent pour amplificateur classe B	53
Tableau 3.11	Les valeurs calculées pour amplificateur classe B	53
Tableau 3.12	Les caractéristiques des signaux de PA classe B tracé par le Matlab	54
Tableau 3.13	Les valeurs de simulation pour amplificateur classe B	56
Tableau 3.14	Les calculés des valeurs de simulation pour amplificateur classe B	56
Tableau 3.15	Les caractéristiques des signaux de PA classe AB visualise par l’oscilloscope	59
Tableau 3.16	Les mesures d’amplificateur classe AB	60
Tableau 3.17	Les valeurs calculées pour amplificateur classe AB	61
Tableau 3.18	Les caractéristiques des signaux de PA classe AB tracé par le Matlab	61
Tableau 3.19	Les valeurs de simulation pour amplificateur classe AB	63
Tableau 3.20	Les calculés des valeurs de simulation pour amplificateur classe AB	63
Tableau 3.21	Les caractéristiques des signaux de PA classe C visualise par l’oscilloscope	66
Tableau 3.22	Les angles de PA classe C	67
Tableau 3.23	Les valeurs calculées pour amplificateur classe C	68
Tableau 3.24	Les valeurs de simulation d’amplificateur classe C	69
Tableau 3.25	Les caractéristiques des signaux de PA classe A(Fabriqué) visualise par l’oscilloscope	71
Tableau 3.26	Les valeurs calculées pour amplificateur classe A (fabriqué)	71

Abréviations et acronymes :

RF	Radio fréquence
PA	Power Amplifier
LNA	Low Noise Amplifier
OL	Oscillateur Locaux
IQ	In-Phase & Quadrature
CAN	Convertisseur analogique numérique
HF	High frequency
BF	Base Fréquence
GBS	global Positioning System
FET	Field Effect Transistor
SiGe	Silicon-germanium
GaAs	Gallium-arsenide
CEM	Compatibilité électromagnétique

Introduction générale :

Dans les systèmes de télécommunications, l'amplificateur de puissance représente l'un des facteurs plus critiques pour le design des transmetteurs sans fil. Il est typiquement situé dans le dernier étage de ces transmetteurs. Pour toutes les applications considérées, tels qu'un portable à faible puissance, une station de base de quelques dizaines de watts ou une station TV transmettant des centaines de watts, l'amplificateur de puissance est fabriqué en tenant compte des mêmes critères principaux comme, l'efficacité énergétique, la linéarité d'amplification, le coût d'un watt et l'encombrement. L'amplificateur de puissance (PA) est un élément essentiel de l'émetteur des systèmes de télécommunication. Il est utilisé pour amplifier le signal en sortie de l'émetteur afin d'être transmis à un niveau de puissance approprié tel qu'il puisse se propager sur une distance nécessaire par l'intermédiaire du canal sans fil. L'amplificateur de puissance doit fournir une puissance de sortie suffisante à un gain suffisamment élevé, avec maximum de rendement et une bonne linéarité. La puissance de sortie d'un PA doit être suffisante pour garantir une transmission fiable. Un gain élevé permet de ramener la puissance nécessaire en entrée de l'étage de sortie du PA pour fournir la puissance de sortie désirée. Un rendement élevé améliore la gestion thermique, la durée de vie des batteries et les coûts opérationnels.

Chapitre

I

- ***L'amplification dans la télécommunication***

I.1 *Système de télécommunication*

I.2 *Les amplificateurs de puissance dans un système de transmission*

I.3 *Les inconvénients de PA à la télécommunication*

I.1 Introduction:

Un système de la télécommunication est constitué d'une chaîne d'émission et d'une chaîne de réception. Le rôle fondamental d'un émetteur est de transformer et d'émettre l'information, Par ailleurs, la transmission doit se faire avec le moins possible de distorsion au niveau de l'enveloppe et de la phase du signal à transmettre qui contiennent les informations utiles. Les amplificateurs de puissance RF forment la partie clef de ces émetteurs, aussi bien pour les systèmes mobiles (téléphone, satellite) que pour les systèmes fixes (stations de base, réseaux hertziens). Dans ce chapitre nous rappelons les principales techniques de télécommunication, et nous présentons les obstacles de télécommunication enfin nous rappelons l'importance de amplificateur de puissance de un système de transmission

I.2 Système de télécommunication:

I.2-1) Définition :

Les télécommunications sont définies comme la transmission à distance d'informations avec des moyens à base d'électronique et d'informatique. Ce terme a un sens plus large que son acception équivalente officielle « communication électronique ». Elles se distinguent ainsi de la poste qui transmet des informations ou des objets sous forme physique. [1]

Une liaison de télécommunications comporte trois éléments principaux :

- un émetteur qui prend l'information et la convertit en signal électrique, optique ou radioélectrique.
- un média de transmission, pouvant être une ligne de transmission, une fibre optique ou l'espace radioélectrique, qui relie émetteur et récepteur.
- un récepteur qui reçoit le signal et le convertit en information utilisable. [2]

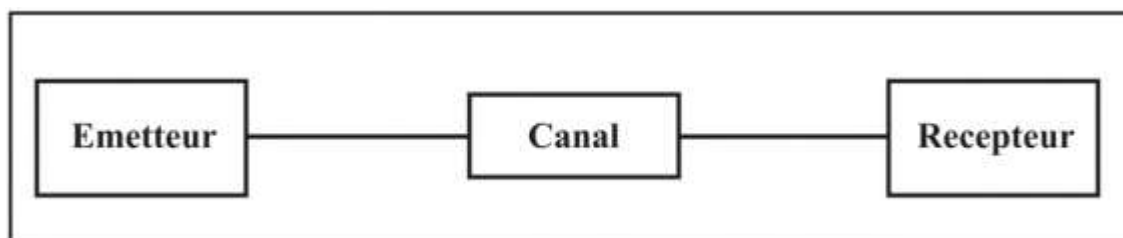


Figure 1.1 : Structure de télécommunication

I.2-2) Techniques des télécommunications :

Un système de communication radiofréquences est un système de communication qui utilise les ondes hertziennes radiofréquences comme moyen de transmission. Il s'appuie sur le schéma de principe présenté à la Figure 1.2. Un tel système est composé d'une partie émission et d'une partie réception. Le rôle de l'émetteur est de transposer en fréquence le signal modulé avant de le transmettre à l'antenne. Le signal ainsi émis pourra alors être présenté au récepteur. Le rôle de ce dernier est d'amplifier le signal modulé radiofréquence et de le transposer en fréquence, en le filtrant pour le présenter au démodulateur permettant ainsi le traitement de l'information reçue. [3]

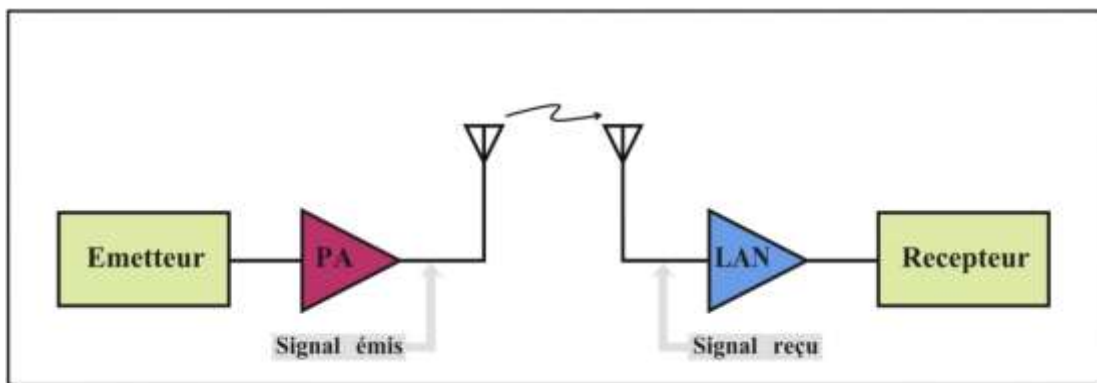


Figure 1.2 : Système d'émission-réception

1. Les émetteurs :

L'architecture de la Figure 1.3 présente la structure fonctionnelle d'un émetteur. Le signal en bande de base est d'abord modulé, puis transposé à la fréquence de la porteuse. Il est ensuite amplifié par un amplificateur de puissance, afin d'atteindre un niveau suffisant pour être émis à travers l'antenne.

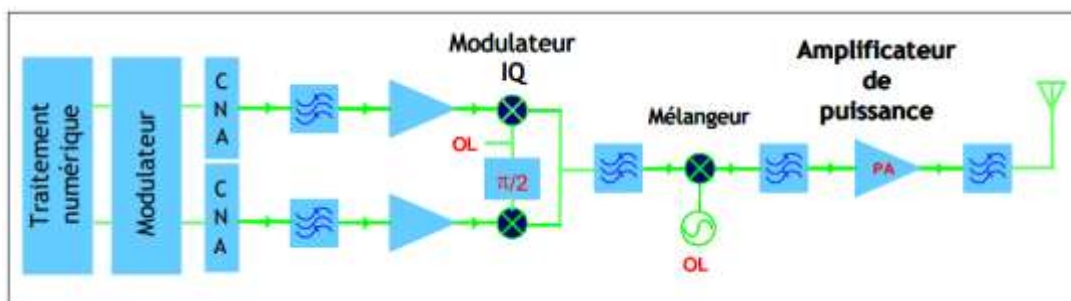


Figure 1.3 : Structure fonctionnelle des émetteurs

Les architectures classiques d'émetteur sont semblables aux structures des récepteurs, il existe plusieurs types d'émetteur : les émetteurs à conversion directe ou à fréquence intermédiaire.

L'essentiel des travaux sur les chaînes d'émission se concentrent sur l'amplificateur de puissance. En effet, celui-ci reste très gourmand en terme de consommation, c'est donc vers la conception de ce bloc que les efforts se font afin de réduire la consommation totale du système. [3]

2. Le Canal :

Le propre d'une transmission étant de se faire à distance, il faut utiliser un milieu physique qui assure le lien entre la source et le destinataire et un signal approprié au milieu choisi, en ce sens qu'il s'y propage bien. Citons par exemple un signal électrique dans un milieu conducteur ou un signal électromagnétique en espace libre. [4]

3. Les récepteurs :

L'architecture fonctionnelle d'une chaîne complète de réception est présentée par la Figure 1.4. L'architecture de récepteur la plus couramment rencontrée est la topologie Superhétérodyne. La partie « front-end » est constituée de filtres, d'amplificateurs, de mélangeurs et d'oscillateurs locaux (OL). La première étape est de sélectionner le canal désiré par le biais d'un filtre passe-bande puis de l'amplifier par un amplificateur faible bruit afin d'augmenter le niveau du signal tout en limitant le bruit à l'entrée du mélangeur.

Le signal est ensuite transposé à des fréquences plus basses grâce au mélangeur qui multiplie ce signal par une sinusoïde de fréquence f_{OL} fournie par l'oscillateur local. Le résultat de ce mélange est une composante à la fréquence $f_{OL} - f_{porteuse}$ et une composante à la fréquence $f_{OL} + f_{porteuse}$. Le filtre passe-bande en sortie du mélangeur est alors utilisé pour ne retenir, par exemple dans le cas de l'architecture supradyn, que la composante fréquence $(f_{OL} - f_{porteuse})$. Le signal ainsi isolée et amplifiée, pourra être traitée numériquement après avoir traversé un modulateur IQ et convertisseur analogique numérique CAN [3].

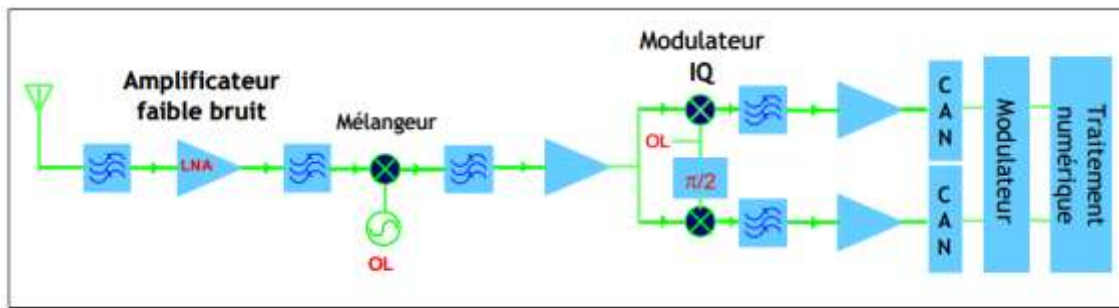


Figure 1.4 : Structure fonctionnelle des récepteurs – récepteur superhétérodyne

I.2-3) Les obstacles de télécommunication :

Sont les signaux envoyés par le canal de communication après effets est l'atténuation et la distorsion, l'interférence et le bruit, ce qui suit est une brève description de ces effets [5] :

1. Atténuation :

Est le processus de diminution de l'amplitude ou signal force envoyé que cette atténuation augmente avec la longueur de la chaîne de transmission l'utilisateur et utiliser des amplificateurs à surmonter les processus d'atténuation et de renvoyer une référence à un niveau acceptable de capacité. [5]

2. Distorsion :

C'est un processus de changement et déformer la forme de l'insigne transmis car la bonne réponse au système de référence au sein de sa distorsion décoloration après que disparition de référence au sein de l'organisation et en théorie peut entrer des dessins pour vous permettre de réduire et de surmonter une distorsion à un niveau acceptable. [5]

3. Chevauchement :

Est le processus d'influence découlant de signaux externes sont généralement synthétique et ont une forme de référence similaires envoyé aux signaux externes interférer avec le signal transmis ce qui affecte la qualité et la clarté de la réception, ce problème est courant dans les émissions radiodiffusées, où parfois recevoir deux ou plus en même temps le futur et de surmonter ce problème une fois pour toutes est possible et ne peut pas toujours être réalisable. [5]

4. Bruit:

Un aléatoire des signaux électriques résultant de naturelles provoque au sein et en dehors du système et le bruit électrique et ne peut pas se débarrasser de lui, une fois et donc en théorie l'ingénieur de la mission est de concevoir le système de communication afin d'atteindre la qualité de réception requis et de réduire et de surmonter l'influence du bruit sur le système. [5]

I.3 Les amplificateurs de puissance dans un système de transmission :

I.3-1) Les différents types d'amplificateurs dans une chaîne de transmission :

Dans les chaînes d'émission-réception radiofréquence et micro-ondes, les amplificateurs occupent une place importante. Leurs caractéristiques et leurs régimes de fonctionnement dépendent des performances attendues en émission ou en réception. [6] On peut donc appliquer aux amplificateurs une double classification :

- Classification par type d'application
- Classification par largeur de la bande de fréquence.

Il est possible de classer les amplificateurs selon trois catégories :

1. Amplificateur fonctionnant en régime linéaire et à fort gain :

Aux fréquences plus élevées, les réactances capacitives en parallèle deviennent plus faibles. Les facteurs qualité chargés des réseaux d'adaptation doivent alors être impérativement plus élevés, ce qui entraîne une diminution de la largeur de bande. Cette limitation est essentielle ; peu importe la complexité du réseau d'adaptation, le gain doit laisser la place à la largeur de bande. Une réactance négative placée autour d'un transistor atténue les effets de ses réactances. Mais une rétroaction entraîne une diminution du gain, il y a donc lieu de trouver un compromis approprié entre gain et largeur de bande. [6]

2. Amplificateur fonctionnant en régime linéaire et à faible bruit :

Un amplificateur faible bruit (LNA de l'anglais Low Noise Amplifier) est un dispositif électronique chargé de mettre en forme des signaux très faibles en provenance d'une

antenne. Il est souvent placé à proximité du capteur, de manière à minimiser les pertes en ligne ; pour cette raison, il est parfois nommé préamplificateur. Ce type de solution est fréquemment utilisé pour les systèmes travaillant à des fréquences élevées, tels que le signal GPS. Suivant les fréquences, l'élément actif d'un amplificateur d'entrée à faible bruit varie : le FET est le moins bruyant jusqu'à quelques dizaines de mégahertz, suivi par le transistor bipolaire (particulièrement SiGe), puis de nouveau le FET en GaAs au-delà de quelques gigahertz. [6]

3. Amplificateur de puissance fonctionnant en régime non linéaire :

Dans un système de communications, en raison de la présence de bruit et de la bande passante de valeur finie, on peut rencontrer, au niveau d'un dispositif linéaire, des distorsions du signal liées à des variations d'amplitude et de phase en fonction de la fréquence.

D'autres distorsions, liées à la présence d'éléments non linéaires, peuvent apparaître dans un système. À cette classification peut s'ajouter une seconde classification, dépendant de la bande de fréquence du fonctionnement. [6]

- **Amplificateur à bande étroite :**

10 à 15 % de largeur de bande autour de la fréquence centrale. Les amplificateurs à bande étroite utilisés à des fréquences inférieures à 30 MHz ressemblent beaucoup aux amplificateurs BF à liaison par résistance. Les charges résistives sont remplacées par des bobines en parallèle ; celles-ci annulent les capacités du transistor en HF.

- **Amplificateur ultra-large bande :**

La plus part des amplificateurs à large bande font appel à la rétroaction. Une impédance d'émetteur non découplée fournit une rétroaction en série. Une impédance entre le collecteur et la base fournit une rétroaction en parallèle. Les amplificateurs à large bande et faible bruit emploient fréquemment une chaîne de rétroaction composée d'éléments sans perte, c'est-à-dire réactifs. [6]

I.3-2) L'importance de PA dans le système de télécommunication :

L'amplification a pour but de compenser les pertes et les affaiblissements du milieu utilisé comme canal de transmission, de façon à obtenir un niveau de réception suffisant à la sortie du système. Pour que les conditions idéales d'une transmission conforme énoncées, il faudrait que l'amplification compense exactement les distorsions linéaires (d'affaiblissement et de phase) du canal, au moins dans toute la bande de fréquence occupée par les signaux. [7]

I.4 Les inconvénients de PA à la télécommunication :

I.4-1) La distorsion:

Un amplificateur doit fournir une tension de sortie ayant la même forme que le signal d'entrée, mais d'amplitude supérieure. Si la forme du signal de sortie (à l'amplitude près) est différente de la forme du signal d'entrée, on dit qu'il y a distorsion. [8]

1. La distorsion d'amplitude :

Cette distorsion a lieu si la bande passante de l'amplificateur n'est pas suffisante pour amplifier l'ensemble des fréquences (spectre) composant le signal. Cependant, si le signal d'entrée est sinusoïdal, le signal de sortie le sera également. [9]

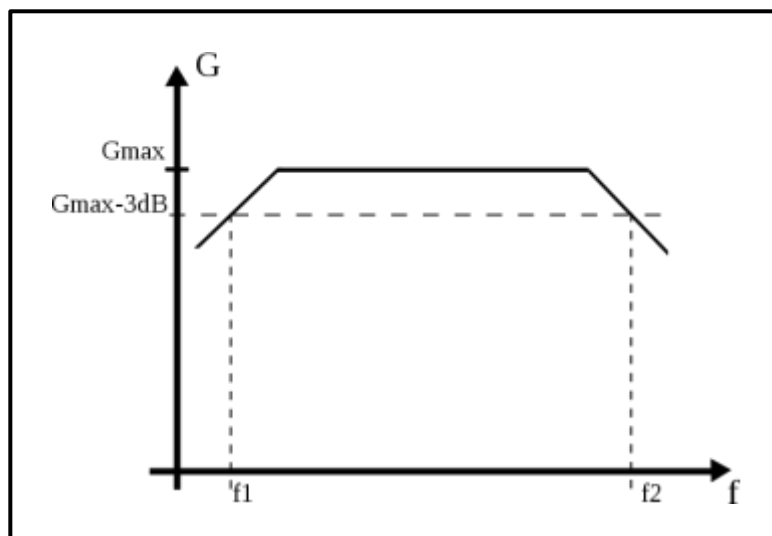


Figure 1.5 : Bande passante à -3 dB

2. La distorsion harmonique :

Cette distorsion est provoquée par un défaut de linéarité de l'amplificateur. Si le signal d'entrée est sinusoïdal, le signal de sortie ne l'est plus. Cette sinusoïde déformée peut être considérée comme la somme d'une sinusoïde pure (fondamentale) et de sinusoïdes de fréquences multiples de cette fondamentale (harmoniques).

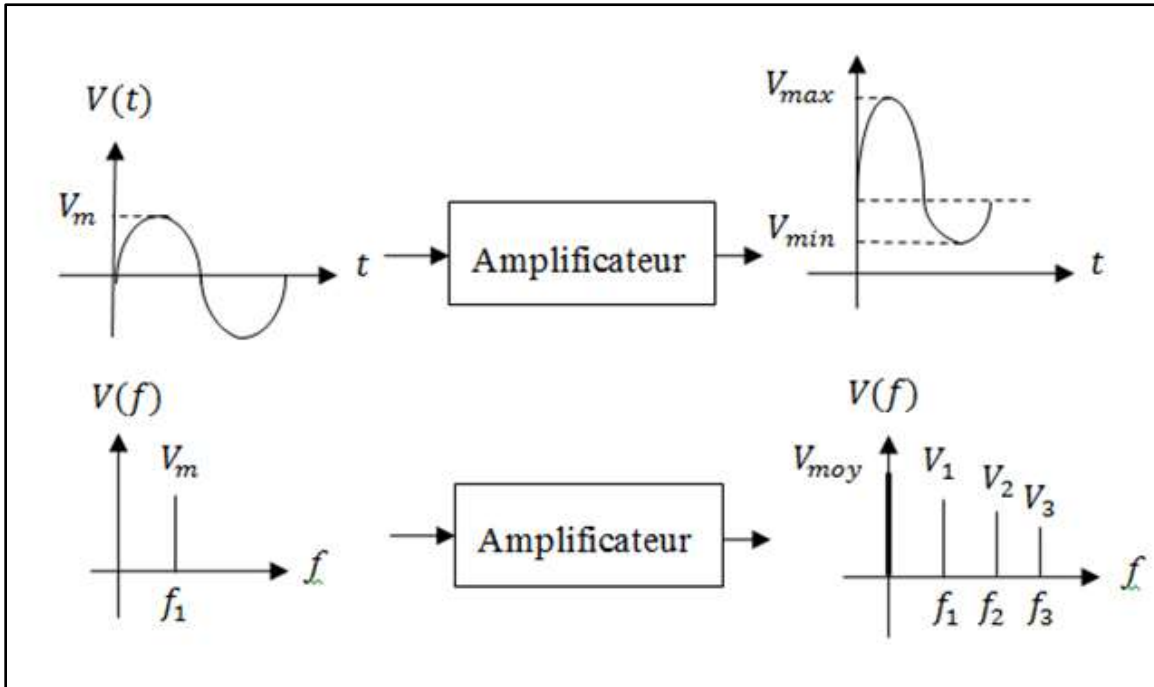


Figure 1.6 : La distorsion harmonique de l'amplificateur

3. La distorsion de phase ou de temps de propagation :

Le signal de sortie d'un amplificateur est composé généralement de plusieurs fréquences, qui devraient être amplifiées strictement en même temps. La forme d'un tel signal complexe ne sera plus conservée si le temps de propagation des fréquences qui le composent n'est pas le même. Ces retards sont peu audibles pour l'oreille. Cependant, si l'amplificateur doit amplifier des signaux numériques, cette distorsion devient très gênante et peut conduire à des erreurs sur les bits transmis et décodés. Pour cette raison, cette caractéristique est très importante pour les amplificateurs de signaux numériques. On quantifie cette distorsion en précisant les différences de retard en fonction de la fréquence. Il est aussi possible de préciser la courbe du déphasage en fonction de la fréquence. Cette courbe doit être une droite pour ne pas avoir de distorsion de propagation de groupe. Pour

cette raison, les amplificateurs sans cette distorsion sont parfois qualifiés « à phase linéaire ».

4. La distorsion d'intermodulation :

Si des étages d'amplification sont non linéaires, on observera en plus de la distorsion harmonique, l'apparition de « fréquences parasites » qui sont des combinaisons linéaires des fréquences composant le signal à amplifier. Ce type de défaut est très gênant pour les amplificateurs traitant de signaux radioélectriques, car ces fréquences parasites peuvent perturber les liaisons radio (voir intermodulation). Cette distorsion peut également être gênante pour les amplificateurs audio, car l'oreille pourra percevoir ces fréquences parasites qui sont surajoutées au signal.

I.4-2) Le bruit :

En électronique, le bruit désigne les signaux aléatoires et non désirés, voire parasites, se superposant aux signaux utiles. Dans un amplificateur ces signaux parasites peuvent venir de son environnement ou des composants le constituant. Il existe cinq types de bruit en électronique : le bruit thermique, le bruit grenaille, le bruit de scintillation (« bruit fliqué »), le bruit en créneaux et le bruit d'avalanche. Il est possible de réduire le bruit dans un amplificateur en s'attaquant directement à ses origines mais aussi en limitant le plus possible la bande passante de l'amplificateur, afin d'éliminer le bruit présent en dehors de ses fréquences de travail. [8]

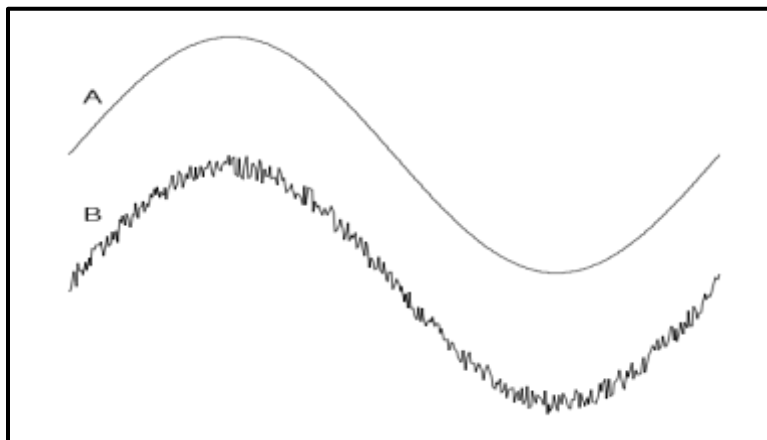


Figure 1.7 : Effet du bruit sur un signal

1. Le bruit thermique :

Le bruit thermique, également nommé bruit de résistance, ou bruit Johnson ou bruit de Johnson-Nyquist est le bruit produit par l'agitation thermique des porteurs de charges, c'est-à-dire des électrons dans une résistance électrique en équilibre thermique. Le bruit thermique est un bruit blanc dont la densité spectrale de puissance dépend uniquement de la valeur de la résistance. Le bruit thermique peut être modélisé par une source de tension en série avec la résistance qui produit le bruit. On caractérise le bruit thermique d'un amplificateur, par sa « résistance équivalente de bruit », ou, pour un amplificateur RF, par le facteur de bruit, qui dépend de la température de la source de signal. [10]

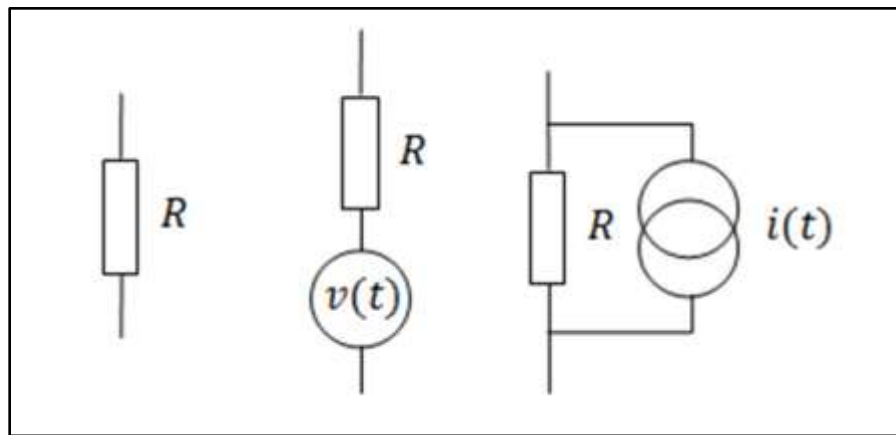


Figure 1.8 : Modélisation du bruit thermique pour une résistance.

2. Le bruit de scintillation :

Le bruit de scintillation, également nommé bruit en $1/f$, bruit en excès, bruit de flicker ou bruit rose est un bruit dont la densité spectrale de puissance est en $1/f$. Cela signifie que plus la fréquence augmente, plus l'amplitude de ce bruit diminue. Ce type de bruit existe dans tous les composants actifs et a des origines très variées, comme des impuretés dans les matériaux ou des créations et recombinaisons parasites dues au courant de base d'un transistor. Ce bruit est toujours relatif à un courant continu. Il peut être réduit en améliorant les procédés de fabrication des semi-conducteurs et diminuant la consommation de l'amplificateur. Malheureusement, la réduction de la consommation d'un amplificateur passe par une augmentation de la valeur de certaines résistances ce qui va augmenter le bruit thermique.

Le bruit de scintillation se rencontre aussi avec les résistances au carbone, où il est désigné comme bruit en excès car il s'additionne au bruit thermique. Le bruit de scintillement étant proportionnel à la composante continue du courant, si le courant est faible, le bruit thermique prédominera quel que soit le type de résistance. [12]

3. Le bruit grenaille :

Le bruit grenaille a été mis en évidence en 1918 par Walter Schottky. Ce bruit apparaît dans les dispositifs où le nombre d'électrons est assez faible pour donner une fluctuation statistique détectable. En électronique, ce bruit apparaît dans les dispositifs à base de semi-conducteur (transistors, diode, etc.) et les tubes électroniques. Le bruit grenaille est un bruit blanc dont la densité spectrale de puissance dépend uniquement de la valeur moyenne du courant traversant le composant bruyant. [11]

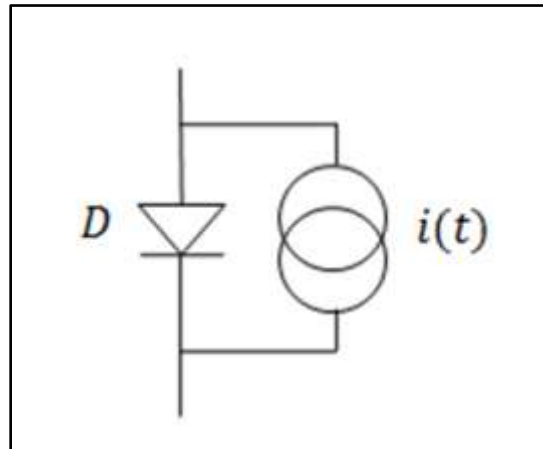


Figure 1.9 : Modélisation du bruit thermique pour une semi-conducteur.

4. Le bruit en créneaux :

Le bruit en créneaux est également nommé burst noise, ou bruit popcorn, ou crépitement. Il a été découvert lors du développement de l'un des premiers amplificateurs opérationnels : le $\mu A709$. Il s'agit essentiellement de créneaux de tension (ou de courant) dont l'amplitude s'étend de moins d'un microvolt à plusieurs centaines de microvolts. L'intervalle entre les créneaux est de l'ordre de la milliseconde 18. Le bruit en créneaux, dans un amplificateur audio, produit des « pops » qui lui ont valu le nom de bruit popcorn¹⁹. L'apparition de ces « pops » est aléatoire : ils peuvent se manifester plusieurs fois par seconde puis disparaître pendant plusieurs minutes. [13]

5. Le bruit d'avalanche :

Le bruit d'avalanche a lieu dans les semi-conducteurs : le champ électrique accélère certains électrons au point de déloger d'autres électrons de valence et de créer des porteurs de charge supplémentaires. Ce bruit devient important pour les champs électriques élevés, au voisinage de l'effet d'avalanche. [14]

I.5 Conclusion :

Dans une liaison d'un système de télécommunication, on utilise deux différents types de amplificateurs, on utilise dans l'émetteur les amplificateurs à fort signaux (amplificateurs de puissance) par ce que dans le processeur de l'émission de signal, il est affecté avec des obstacles comme le bruit dans l'espace réel (artificiel , naturel) et l'atténuation de puissance de signal reçu à cause de l'augmentation de la distance entre l'émetteur et le récepteur pour cela l'amplificateur de puissance sont des éléments très importants dans le système de télécommunication.

Chapitre

II

- *Différents Classes d'amplificateur de puissance*
-

II.1 *L'amplificateur de puissance*

II.2 *Caractéristique d'un amplificateur de puissance*

II.3 *Classes d'amplificateur de puissance*

II.1 Introduction :

Dans ce chapitre, nous rappelons les propriétés électriques et les définitions propres à l'amplification en règle générale et à l'amplification de puissance en particulier. Les principales applications sont également mentionnées. Et nous présentons une description des différentes classes de fonctionnement classiques (A, AB, B et C), Enfin, nous rappelons les principales caractéristiques d'un amplificateur de puissance (puissance, gain, rendement, linéarité et stabilité) et d'autre class (E, D, F).

II.2 L'amplificateur de puissance :

II.2-1) Définition :

Un amplificateur électronique (ou amplificateur, ou ampli) est un système électronique augmentant la tension et/ou l'intensité d'un signal électrique. L'énergie nécessaire à l'amplification est tirée de l'alimentation du système. Un amplificateur parfait ne déforme pas le signal d'entrée : sa sortie est une réplique exacte de l'entrée mais d'amplitude majorée. [13]

II.2-2) Principe d'amplification :

La structure générale d'un circuit d'amplification est donnée à la Figure 2.1:

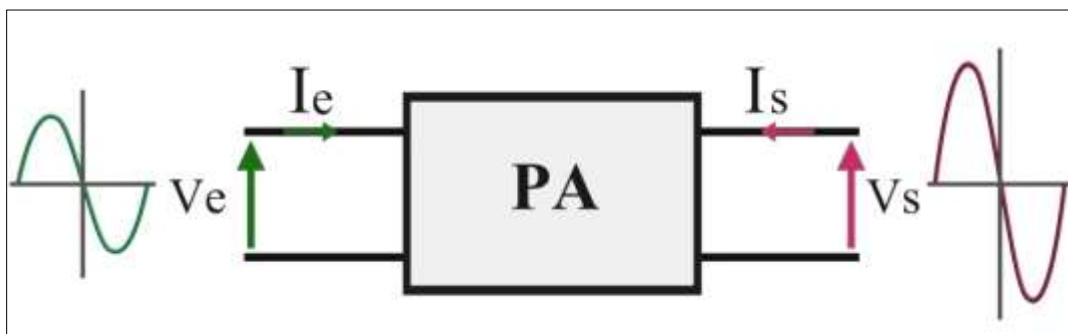


Figure 2.1 Schéma de principe d'un amplificateur

La source de tension continue (alimentation) fournit la puissance nécessaire à l'amplificateur pour polariser les composants (points de repos) des montages à transistors, des amplificateurs opérationnels ou des amplificateurs spécifiques. Le signal d'entrée est

souvent un signal bas niveau et le signal de sortie est un signal haut niveau. L'amplification ne concerne souvent que le signal alternatif. [14]

L'amplification est linéaire si le gain de l'amplificateur A reste constant lorsque l'amplitude de l'entrée varie. On parle de saturation si, lorsque l'entrée augmente, la sortie reste constante. [15]

II.2-3) Types d'amplificateurs de puissances :

- **Les amplificateurs faible bruit :**

Ils sont situés en tête de chaînes de réception et sont caractérisés par un faible facteur de bruit, qui leur permet d'amplifier de très faibles signaux. [16]

- **Les amplificateurs de moyenne puissance :**

Ce sont généralement des amplificateurs situés au niveau des étages intermédiaires. Ils ont un fonctionnement dans le domaine linéaire et permettent de fournir un signal d'un niveau suffisamment élevé à l'étage final. [16]

- **Les amplificateurs de puissance :**

Ils constituent l'ultime composant actif du bloc émission et doivent donc fournir une puissance nécessaire à une transmission correcte du signal émis. Nous allons détailler de manière plus approfondie leur utilisation actuelle. [16]

II.3 Caractéristique d'un amplificateur de puissance :

Les amplificateurs de puissance RF sont utilisés dans une grande variété d'applications de communication sans fil. La puissance de sortie RF peut varier de quelques mW à quelques W, selon l'application. Par exemple dans les radars automobiles), la puissance est de l'ordre d'une centaine de mW. Ces dispositifs de puissances dans les fréquences millimétriques utilisent des tensions plus faibles, des courants élevés et une résistance de

charge relativement faible (de l'ordre de 10T). La plupart des paramètres importants qui définissent un amplificateur de puissance RF sont les suivants [17] :

- Puissance de sortie en mW ou dBm,
- Gain en dB,
- Rendement %,
- Linéarité,
- Stabilité.

II.3-1) Puissance :

La Figure 2.2 montre un bilan de puissance typique d'un amplificateur de puissance, où une source d'entrée est supposée générer un signal RF à la fréquence f_0 ...

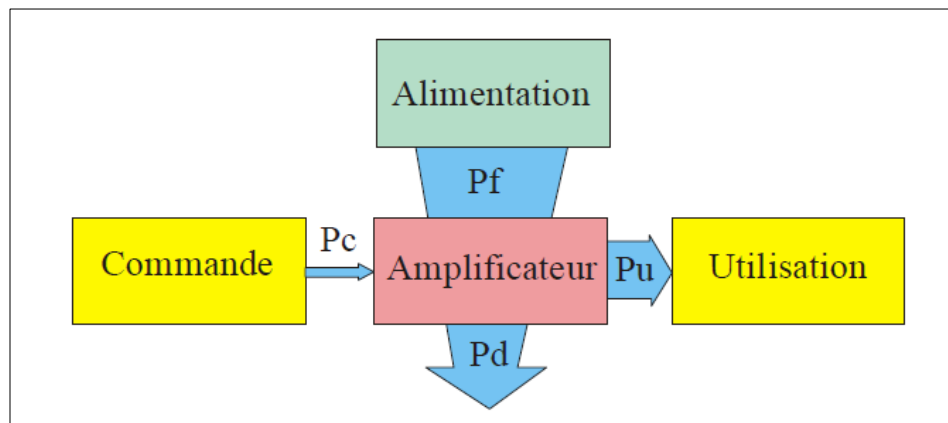


Figure 2.2 : Bilan de puissance général d'un amplificateur

Par la loi de conservation de l'énergie, la valeur totale de puissance entrant dans un amplificateur doit être la même que la valeur totale en sortie de celui-ci:

$$P_c + P_f = P_u + P_d \quad \text{Eq 2.1}$$

Dans le cas des signaux périodiques de période $T=1/f_0$, les puissances RF en entrée (P_c) et en sortie (P_u) sont déterminées par :

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T V(t).i(t).dt \quad \text{Eq 2.2}$$

Où $v(t)$ et $i(t)$ représentent respectivement la tension et le courant en fonction du temps pour les signaux sinusoïdaux, la puissance moyenne de sortie est donnée par l'expression suivante [17]:

$$P_u = \frac{1}{2} \cdot V_u \cdot I_u \quad \text{Eq 2.3}$$

L'impédance de sortie est habituellement modélisée par une charge purement résistive R_L , ce qui donne :

$$P_u = \frac{V_u^2}{2 \cdot R_L} \quad \text{Eq 2.4}$$

L'équation précédent montre que la puissance de sortie est proportionnelle au carré de la tension de sortie et inversement proportionnel à la charge R_L . La puissance consommée P_f est la puissance fournie par l'alimentation. Cette puissance est calculée par :

$$P_f = V_{CC} \cdot I_{Co} \quad \text{Eq 2.5}$$

La puissance qui n'est pas convertie en signal utile est dissipée en chaleur. Les amplificateurs de puissance qui ont un faible rendement obtiennent des niveaux élevés de dissipation de chaleur. A partir du bilan de puissance défini précédemment, on peut déduire la puissance dissipée (P_d). L'unité des expressions de puissance est le Watt. La puissance est souvent exprimée aussi en dBm. Pour cela [17] :

$$P[\text{dBm}] = 10 \log (1000 \cdot P [\text{W}]) \quad \text{Eq 2.6}$$

II.3-2) Gain :

Dans les circuits radiofréquences, le gain en puissance d'un amplificateur est souvent plus important que le gain en tension. La définition la plus couramment utilisée du gain en puissance est le gain transducique G_T défini par :

$$G_T = \frac{P_u}{P_d} \quad \text{Eq 2.7}$$

Où P_{out} est la puissance fournie à la charge de l'amplificateur, et P_d est la puissance disponible de la source. Celle-ci est la même que la puissance délivrée à l'entrée de l'amplificateur par la source ($P_d = P_c$) à la condition que l'impédance d'entrée de l'amplificateur soit parfaitement adaptée à l'impédance de source ($Z_e = Z_s^*$).

Soit encore en dB :

$$G[\text{dB}] = P_u [\text{dBm}] - P_c [\text{dBm}] \quad \text{Eq 2.8}$$

Le maximum de gain est obtenu pour des puissances d'entrée assez faible. Ce gain en puissance peut aussi être déterminé par les paramètres S, ce qui correspond au gain aux petits signaux.

$$G[\text{dB}] = 10 \log |S_{21}|^2 \quad \text{Eq 2.9}$$

Une valeur importante du gain dans la conception du PA est le gain à saturation obtenu pour des puissances d'entrée élevées. Dans ce cas, l'amplificateur a un gain plus faible, mais l'amplificateur délivre la puissance de sortie maximale à la charge. [17]

II.3-3) Rendement :

Le rendement est un paramètre critique dans un PA. Deux définitions de rendement sont habituellement utilisées. Le rendement en puissance (η) est défini comme le rapport de la puissance de sortie sur la puissance consommée.

$$\eta = \frac{P_u}{P_c} \quad \text{Eq 2.10}$$

Cette définition est basée sur l'idée qu'un amplificateur de puissance est essentiellement un convertisseur de puissance d'une entrée DC vers une sortie RF. Ainsi, le rendement en puissance est un facteur de qualité de la conversion d'énergie. Un rendement de 100% signifie que la puissance DC fournit par l'alimentation est entièrement délivrée à la charge. Toutefois, c'est impossible à réaliser.

La définition de rendement la plus largement utilisée est le rendement à puissance ajoutée (PAE), incluant la puissance d'entrée qui est soustraite linéairement à la puissance de sortie

$$\text{PAE} = \frac{P_u - P_c}{P_f} = \eta \left(1 - \frac{1}{G}\right) \quad \text{Eq 2.11}$$

L'avantage du rendement à puissance ajoutée est qu'il combine le gain au rendement de puissance. Quand un amplificateur de puissance est utilisé dans un système, le signal d'entrée est fourni à partir de l'étage précédent qui a une limitation sur le niveau de puissance de sortie. Ainsi, le gain de l'amplificateur de puissance, dans ce cas, est un facteur critique pour déterminer le rendement de l'ensemble du système ainsi que celui de

l'amplificateur. Le rendement à puissance ajoutée approche de sa valeur maximale lorsque le gain augmente. [17]

II.3-4) Linéarité :

Linéarité est un paramètre important pour tout amplificateur. En effet, il est souhaitable que l'amplificateur fonctionne avec une bonne linéarité. Pour cela, la puissance de sortie doit évoluer linéairement en fonction de la puissance d'entrée. Toutefois, un dispositif sature au-delà d'une certaine puissance d'entrée, ce qui introduit des harmoniques dans le spectre de puissance de sortie. La linéarité dans les amplificateurs de puissance est très préoccupante, car ils peuvent souvent être mis en fonctionnement dans la région non-linéaire pour fournir une puissance de sortie importante. Pour étudier la non-linéarité, le signal de sortie peut être approxime par les trois premiers termes de la série de Taylor :

$$v_s(t) \approx a_1 v_e(t) + a_2 v_e^2(t) + a_3 v_e^3(t) \quad \text{Eq 2.12}$$

La linéarité peut être étudiée avec différents signaux d'entrée. En appliquant une sinusoïde à l'entrée du système non linéaire, le point de compression à 1 dB, les conversions de phase et de gain sont généralement utilisées pour quantifier la linéarité. En appliquant deux sinusoïdes très proches en fréquences, le produit d'intermodulation d'ordre 3 permet de mesurer la linéarité par les mélanges des deux signaux. Et en appliquant un signal module, la mesure de puissance entre le canal principal et les canaux adjacents caractérise l'amplificateur de puissance dans un système complet. [17]

II.3-5) Stabilité :

La stabilité de l'amplificateur constitue la principale caractéristique à assurer dans un premier temps afin d'éviter les oscillations au niveau du circuit actif, lesquelles ne sont pas désirées. Ces oscillations apparaissent lorsque les ports en entrée et en sortie du quadripôle présentent respectivement une résistance négative. En termes de coefficients de réflexion, l'amplificateur est alors stable si les coefficients de réflexion R_{in} et R_{out} , associés respectivement aux impédances en entrée et en sortie, ont leur module inférieur à 1

L'analyse de stabilité de l'amplificateur s'effectue en considérant deux critères qui sont définis en fonction des impédances de la charge et de la source. L'amplificateur est

inconditionnellement stable quelque soient les charges passives placées en entrée et en sortie si les coefficients de réflexion à la source et à la charge sont respectivement inférieurs à 1. [17]

II.4 Classes d'amplificateur de puissance :

II.4-1) Amplificateur classe A :

Les amplificateurs de classe A sont les amplificateurs linéaires les plus fidèles, c'est-à-dire présentant le taux de distorsion harmonique le plus faible, même en l'absence de réaction négative. Leur rendement est toutefois tellement faible que leur usage est généralement limité aux amplificateurs de très faible puissance ou encore aux amplificateurs haute-fidélité haut de gamme de puissance moyenne. L'amplificateur est constitué d'un étage de sortie ne comportant qu'un seul transistor. Le repos se situe approximativement au milieu de la droite de charge. En fonction du signal à amplifier, il peut donc se déplacer de part et d'autre de ce point le long de la droite de charge. [18]

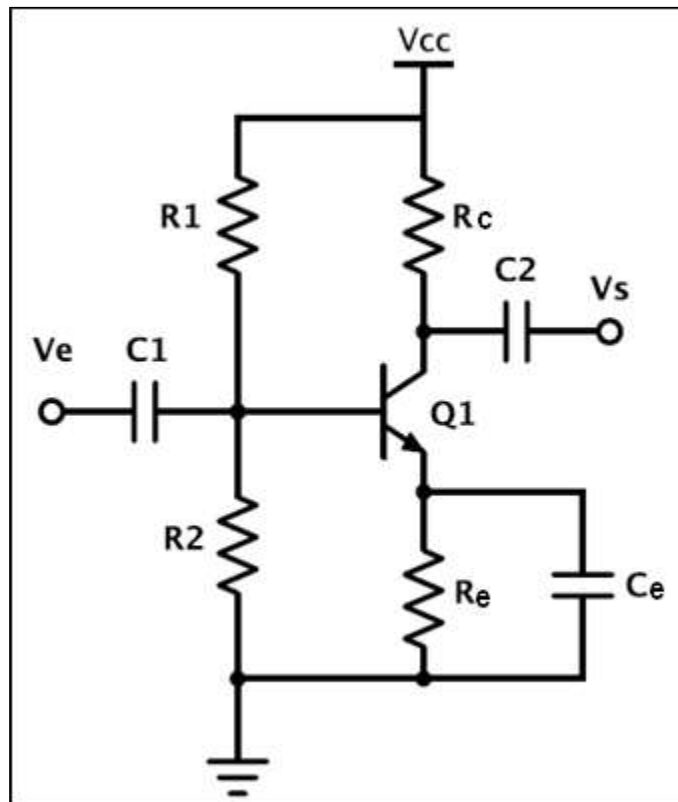


Figure 2.3 : Amplificateur classe A

a) Point de repos :

L'amplificateur de puissance est dit être amplificateur classe A lorsque le point Q et le signal d'entrée sont choisies de façon que le signal de sortie est obtenue pour un cycle complet d'entrée.

Point clé: Pour cette catégorie, la position du point de Q est à peu près au milieu de la ligne de charge. [19]

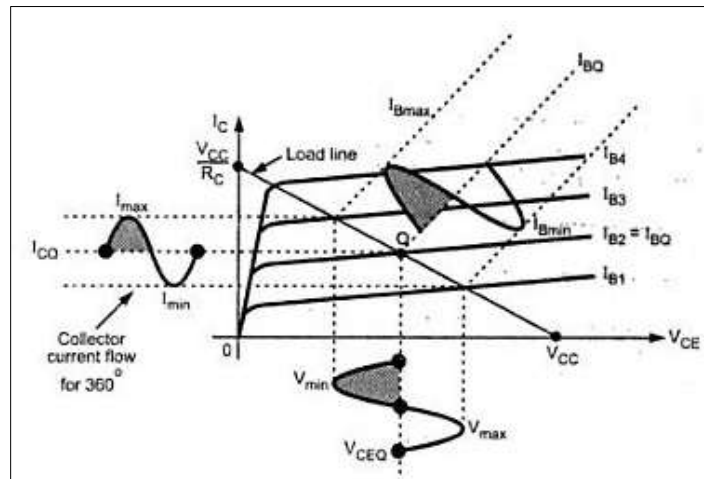


Figure 2.4 : Point de repos d'un amplificateur classe A

b) Fonctionnement :

Pour toutes les valeurs des signaux d'entrée, le transistor reste dans la région active et jamais entrer en coupure ou région de saturation. Quand un courant alternatif le signal d'entrée est appliqué, la tension de collecteur varie de manière sinusoïdale d'où le courant de collecteur varie également de façon sinusoïdale.

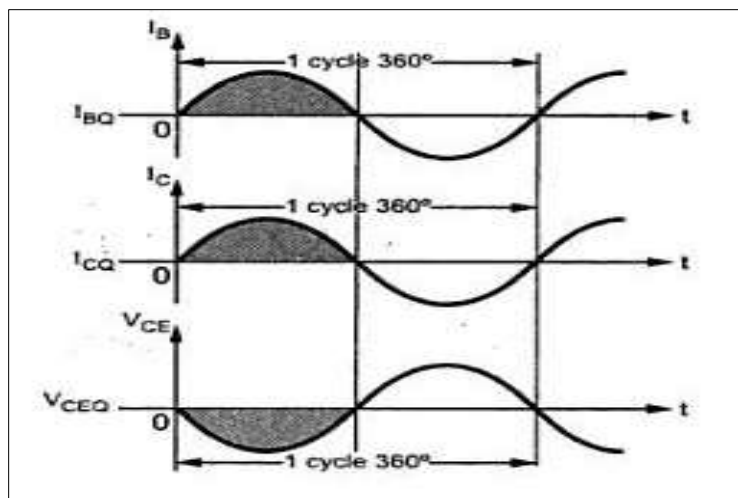


Figure 2.5 Fonctionnement d'un amplificateur classe A

Le flux de courant de collecteur pour 360 ° (cycle complet) du signal d'entrée. En d'autres termes, l'angle du flux de courant de collecteur est 360 °.

Les formes d'ondes de courant et de tension pour un fonctionnement en classe A sont représentés à l'aide de caractéristiques de sortie et la ligne de charge, dans la Figure 2.5. Comme représenté sur la Figure 2.5, pour un cycle complet d'entrée, un cycle complet de sortie est obtenu.

Voici signal est fidèlement reproduit, à la sortie, sans aucune distorsion. C'est un élément important d'un fonctionnement en classe A. L'efficacité de fonctionnement de classe A est très faible. [19]

c) Puissance :

• **Puissance utile :**

$$P_u = \frac{1}{2} U_{CH} \times I_{CH} = \frac{1}{2} \frac{U_{CH}^2}{R_{CH}} \quad \text{Eq 2.13}$$

Si le point de repos est situé au milieu de la droite de charge alors ($V_{CE0} = \frac{E}{2}$)
alors $U_{CHMAX} = \frac{E}{2}$ [20]

$$P_{uMAX} = \frac{E^2}{8R_{CH}} \quad \text{Eq 2.14}$$

• **Puissance fournie par l'alimentation :**

$$P_f = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} E(I_{C0} + I_{CH} \sin \omega t) d\omega t = E I_{C0} = \frac{1}{2} \frac{E^2}{R_{CH}} \quad \text{Eq 2.15}$$

Elle est constante quel que soit le régime de fonctionnement [20]

• **Puissance dissipée par le transistor :**

$$P_t = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} V_{CE} I_C d\omega t = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} (V_{CE0} - U_{CH} I_{CH} \sin \omega t)(I_{C0} + I_{CH} \sin \omega t) d\omega t \quad \text{Eq 2.16}$$

Le transistor est maximal lorsqu'aucune puissance utile n'est fournie à la charge; elle est minimale lorsque la puissance fournie à la charge est maximale [20] :

$$P_t = \frac{1}{4} \frac{E^2}{R_{CH}} - \frac{1}{2} U_{CH} I_{CH} = \frac{1}{4} \frac{E^2}{R_{CH}} - \frac{1}{2} \frac{U_{CH} I_{CH}}{R_{CH}} \gg \frac{1}{4} \frac{E^2}{R_{CH}} \quad \text{Eq 2.17}$$

d) Rendement :

Lorsque la puissance utile est nulle la puissance dissipée par le transistor n'est pas égale à la puissance fournie par l'alimentation; en effet il existe dans la charge une puissance continue dissipée par effet Joules et sans aucun intérêt si ce n'est d'assurer la polarisation du transistor. [21]

$$\eta = \frac{P_u}{P_f} = \frac{U_{CH}^2}{E^2} = \frac{1}{4} = 0.25 = 25\% \quad \text{Eq 2.18}$$

e) Utilisation :

Les amplificateurs de classe A sont généralement utilisés pour réaliser des étages préamplificateurs, des amplificateurs audio, des amplificateurs hautes fréquences à large bande ainsi que des oscillateurs hautes fréquences. Bien que la majorité des amplificateurs audio utilisent un étage de sortie de structure classe B, certains audiophiles considèrent que ce sont les amplificateurs de classe A qui donne la meilleure qualité sonore, de par leur linéarité. [22]

II.4-2) Amplificateur Push-Pull (B-AB):

Les amplificateurs classe B (et surtout leur variante de classe AB) sont de loin les amplificateurs les plus utilisés. Quand on leurs associe une boucle de réaction négative, leur distorsion tombe à un niveau extrêmement faible. Leur rendement est très bon et ils peuvent aisément fournir des puissances de sortie élevées. L'amplificateur est constitué d'un étage de sortie comportant deux transistors complémentaires.

Le point de repos se situe à la limite du blocage de chaque transistor. Pour pouvoir amplifier les deux alternances d'un signal sinusoïdal, il faut que l'un des transistors amplifie les alternances positives et le second les alternances négatives. [18]

I. Amplificateur classe B :

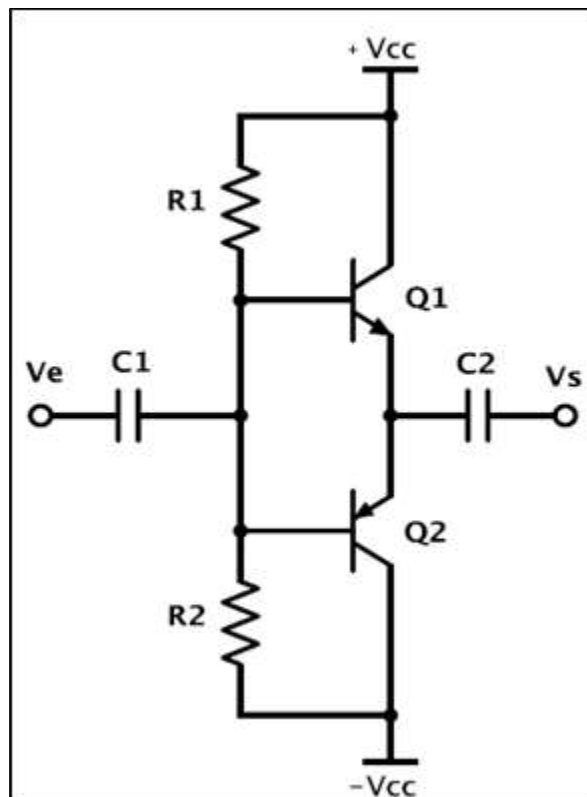


Figure 2.6: Amplificateur classe B

a) Point de repos :

L'amplificateur de puissance est dit amplificateur de classe B si le point Q et le signal d'entrée est sélectionné, telle que le signal de sortie est obtenue uniquement pour un demi-cycle d'un cycle complet d'entrée.

Point clé: Pour cette opération, le point Q est décalé sur l'axe X transistor est sollicité pour couper. [19]

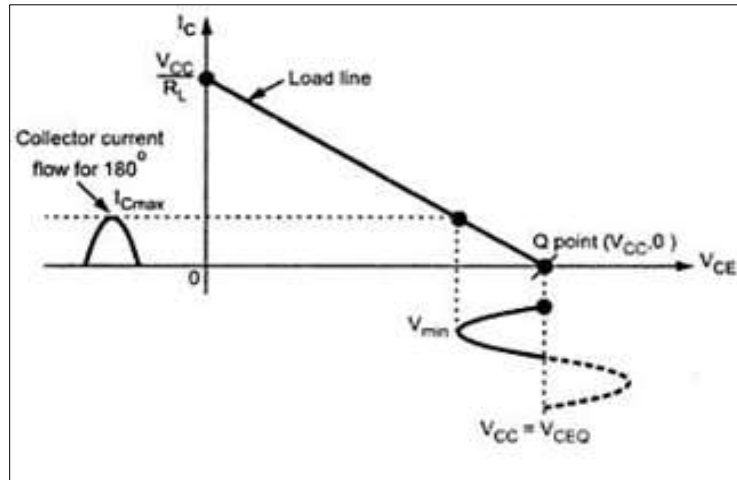


Figure 2.7 : Point de repos d'un amplificateur classe B

b) Fonctionnement :

En raison de la sélection du point Q sur l'axe xx' , le transistor reste dans la région active, uniquement pour le demi-cycle positif du signal d'entrée. D'où ce demi-cycle est reproduit à la sortie. Mais, dans un demi-cycle négatif du signal d'entrée, le transistor entre dans une région de coupure et aucun signal n'est produit à la sortie. Le courant de collecteur ne circule que pendant 180° (demi-cycle) du signal d'entrée

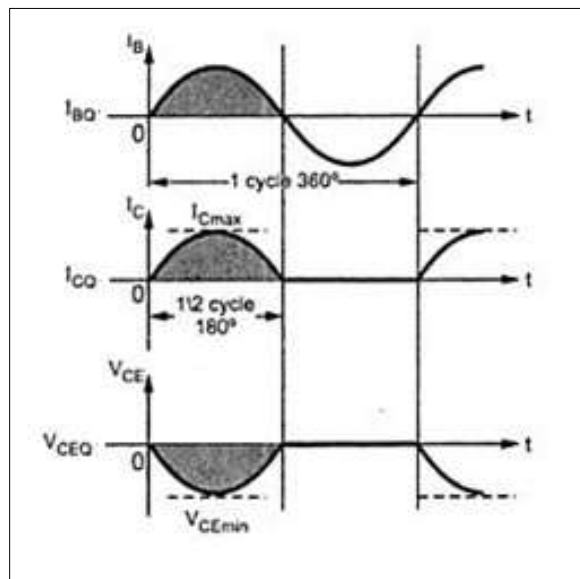


Figure 2.8 Fonctionnement d'un amplificateur classe B

Les signaux de courant et de tension pour un fonctionnement en classe B sont présentés dans la figure 2.8. Comme seulement un demi-cycle, on obtient à la sortie, pour un cycle complet d'entrée, le signal de sortie est déformé dans ce mode de fonctionnement. Pour éliminer cette distorsion, pratiquement deux transistors sont utilisés dans les demi-cycles alternés du signal d'entrée. Ainsi, l'ensemble d'un cycle complet du signal de sortie est obtenu à travers la charge. Chaque transistor conduit uniquement pendant un demi-cycle du signal d'entrée. [19]

c) Puissance :

• **Puissance utile :**

$$P_u = \frac{1}{2} U_{CH} \times I_{CH} = \frac{1}{2} \frac{U_{CH}^2}{R_{CH}} \quad \text{Eq 2.19}$$

Le point de repos est situé à la limite du blocage alors ($V_{CE0} = E$) alors $U_{CHMAX} = E$ [20]

$$P_{U_{MAX}} = \frac{E^2}{2R_{CH}} \quad \text{Eq 2.20}$$

• **Puissance fournie par l'alimentation :**

Nous disposons d'une alimentation symétrique $\pm E$; calculons la puissance fournie par une alimentation :

$$P_{f1} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} E I_{C1} d\omega t = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} E (I_{CH} \sin \omega t) d\omega t = \frac{E}{U_{CH}} \frac{\pi}{U_{CH}} \quad \text{Eq 2.21}$$

Pour les 2 alimentations la puissance fournie vaut [20]:

$$P_f = 2P_{f1} = \frac{2E U_{CH}}{\pi I_{CH}} \gg P_{f_{MAX}} = \frac{2 E^2}{\pi R_{CH}} \quad \text{Eq 2.22}$$

• **Puissance dissipée par le transistor :**

Calculons la puissance dissipée dans un transistor sur une période

$$P_{t1} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} V_{CE} I_{C1} d\omega t = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} (E - U_{CH} \sin \omega t) (I_{CH} \sin \omega t) d\omega t \quad \text{Eq 2.23}$$

$$P_{t1} = \frac{1}{\pi} \frac{E U_{CH}}{R_{CH}} - \frac{U_{CH}^2}{4R_{CH}} \quad \text{Eq 2.24}$$

Cette puissance est maximale pour [20]:

$$\frac{dP_{t1}}{dP} = 0 > U_{CH} = \frac{2E}{\pi} = 0.64 E \quad \text{Eq 2.25}$$

d) Rendement :

Lorsque la puissance utile est nulle la puissance dissipée par le transistor est nulle également ainsi que la puissance fournie par l'alimentation. [21]

$$\eta = \frac{P_u}{P_f} = \frac{\pi U_{CH}}{4 E} \gg \eta_{MAX} = \frac{\pi}{4} = 78.5\% \quad \text{Eq 2.26}$$

e) Utilisation :

On retrouve des amplificateurs de classe B de type push-pull dans l'étage de sortie des amplificateurs continu utilisés dans les boucles d'asservissement linéaire, les générateurs de fonction, les amplificateurs en circuits intégrés, ainsi que dans l'étage de sortie de la majorité des amplificateurs audio. [22]

II. Amplificateur classe AB :

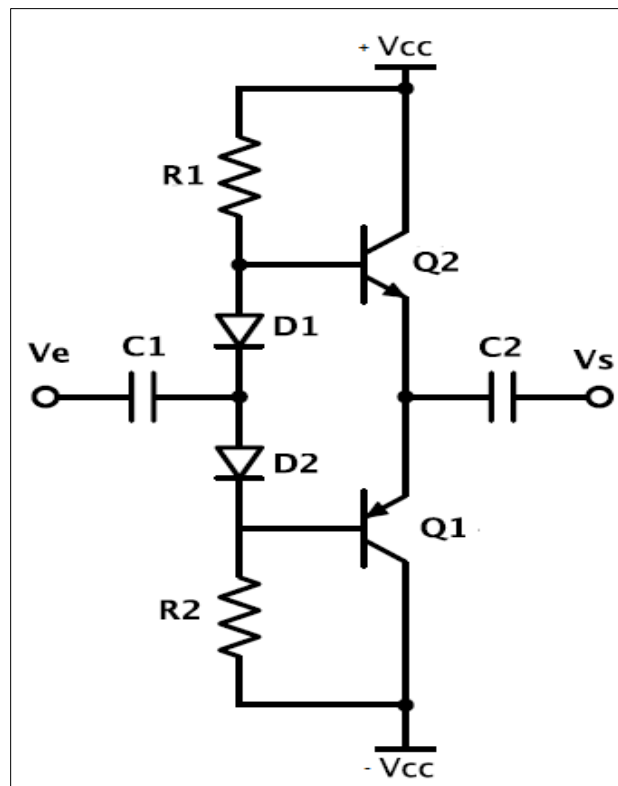


Figure2.9: Amplificateur classe AB

a) Point de repos :

L'amplificateur de puissance est dit être amplificateur en classe AB, si le point Q et signal d'entrée est choisi de telle sorte que le signal de sortie est obtenu de plus de 180° mais de moins de 360° , pour un cycle complet d'entrée.

Point clé: La position du point Q est au-dessus de l'axe X mais en dessous du point médian de la ligne de charge. [19]

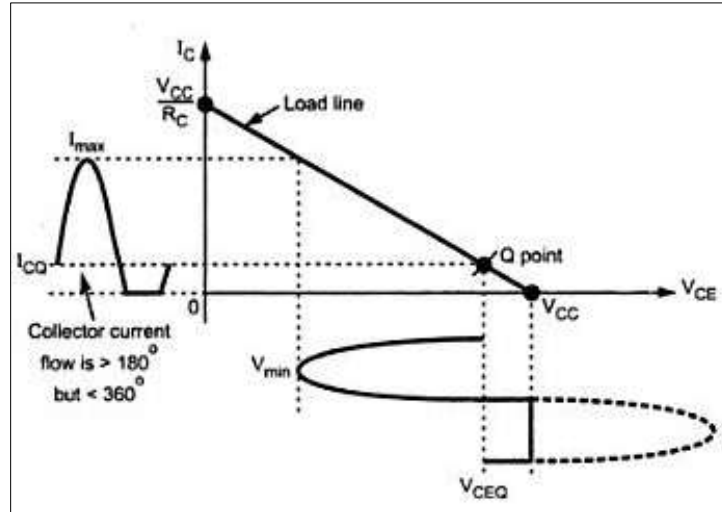


Figure 2.10 : Point de repos d'un amplificateur classe AB

b) Fonctionnement :

Le signal de sortie est déformé en fonctionnement en classe AB. L'efficacité est plus que la classe A, mais moins de fonctionnement en classe B. Le fonctionnement en classe AB est important d'éliminer la distorsion de croisement. [19]

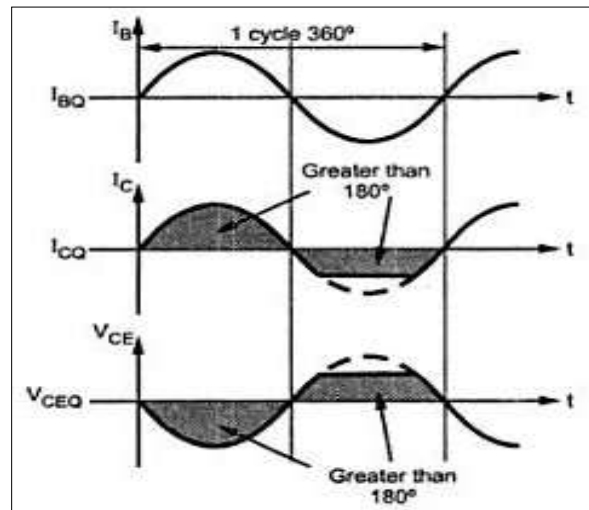


Figure 2.11 Fonctionnement d'un amplificateur classe AB

c) puissances :

• Puissance utile:

$$P_U = V_{\text{eff}} I_{\text{eff}} = \frac{V_S}{\sqrt{2}} \frac{I_S}{\sqrt{2}} = \frac{V_S^2}{2R_{CH}} \quad \text{Eq 2.27}$$

$$P_{U(\text{max})} \approx \frac{V_{CEQ} I_C}{2} = \frac{V_{CEQ}^2}{2R_{CH}} \quad \text{Eq 2.28}$$

• Puissance fournie par les transistors :

La puissance instantanée dissipée dans les transistors (l'alternance positive dans T_1 et l'alternance négative dans T_2) vaut :

$$P_T = \frac{2V_{CC} V_S}{\pi R_{CH}} - \frac{V_S^2}{2R_{CH}} \quad \text{Eq 2.29}$$

La puissance moyenne dissipée dans les transistors, sur une période, passe par un maximum lorsque [20] :

$$\frac{\partial P_T}{\partial V_S} = \frac{2V_{CC}}{\pi R_{CH}} - \frac{V_S}{R_{CH}} = 0 \quad \text{Eq 2.30}$$

$$V_S = \frac{2V_{CC}}{\pi} \quad \text{Eq 2.31}$$

$$P_{T(\text{max})} = \frac{2V_{CC}^2}{\pi^2 R_{CH}} \quad \text{Eq 2.32}$$

• Puissance fournie par l'alimentation

La puissance délivrée par l'alimentation n'est rien d'autre que la somme des puissances dissipées dans les transistors T_1 , T_2 et dans la charge R_{CH} . [20]

$$P_{\text{tot}} = P_{T1+T2} + P_U = \frac{2V_{CC} V_S}{\pi R_{CH}} - \frac{V_S^2}{2R_{CH}} + \frac{V_S^2}{2R_{CH}} \quad \text{Eq 2.33}$$

$$P_f = \frac{2V_{CC} V_S}{\pi R_{CH}} \quad \text{Eq 2.34}$$

Cette puissance est maximale lorsque : $V_S = V_{CC}$

$$P_{f(max)} = \frac{2V_{CC}^2}{\pi R_{CH}} \quad \text{Eq 2.35}$$

d) Rendement

Lorsque la puissance utile est nulle la puissance dissipée par le transistor est nulle également ainsi que la puissance fournie par l'alimentation [20].

$$\eta = \frac{P_u}{P_f} \gg \eta = \frac{\pi V_S}{4 V_{CC}} \quad \text{Eq 2.36}$$

Le rendement est maximum pour : $V_S = V_{CC}$

$$\eta = \frac{\pi V_{CC}}{4 V_{CC}} = \frac{\pi}{4} \quad \text{Eq 2.37}$$

$$\eta = \frac{\pi}{4} = 78.5\% \quad \text{Eq 2.38}$$

II.4-3) Amplificateur classes C :

Les amplificateurs de classe C sont des amplificateurs non-linéaires à très haut rendement. Ils ne sont toutefois utilisables que dans les amplificateurs HF (émetteur radio) avec des porteuses non modulées en amplitude. Ils génèrent un nombre considérable d'harmoniques qui doivent être filtrées à la sortie à l'aide de circuits accordés appropriés. [18]

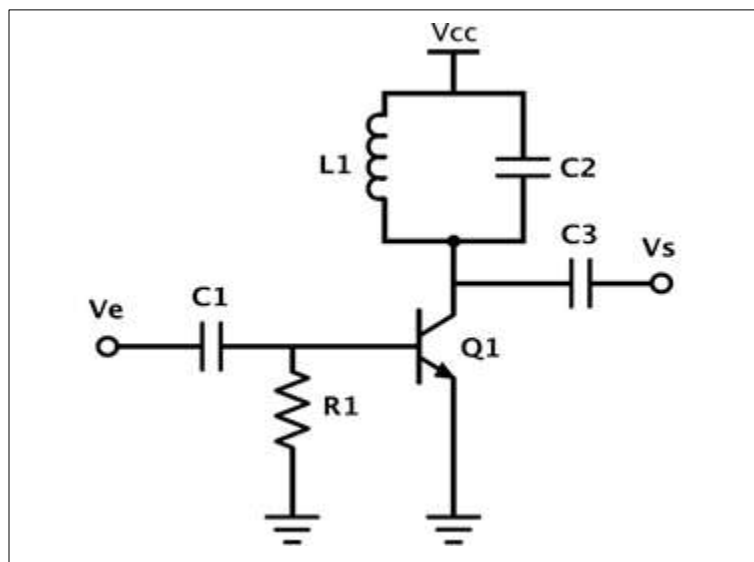


Figure 2.12 : Amplificateur classe C

a) Point de repos :

Les amplificateurs de puissance est dit être amplificateur de classe C, si le point Q et le signal d'entrée sont choisies de telle sorte que le signal de sortie est obtenu depuis moins d'un demi-cycle, pour un cycle complet d'entrée. [19]

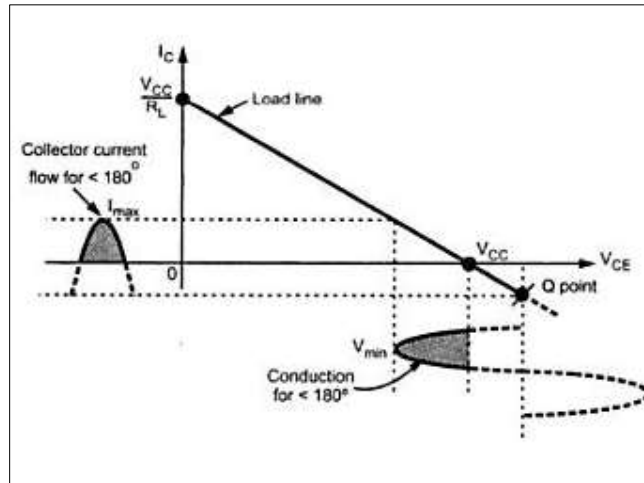


Figure 2.13 : Point de repos d'un amplificateur classe C

b) Fonctionnement :

Pour toutes les valeurs des signaux d'entrée, le transistor reste dans la région active et jamais entrer en coupure ou région de saturation. Quand un courant alternatif le signal d'entrée est appliqué, la tension de collecteur varie de manière sinusoïdale d'où le courant de collecteur varie également de façon sinusoïdale.

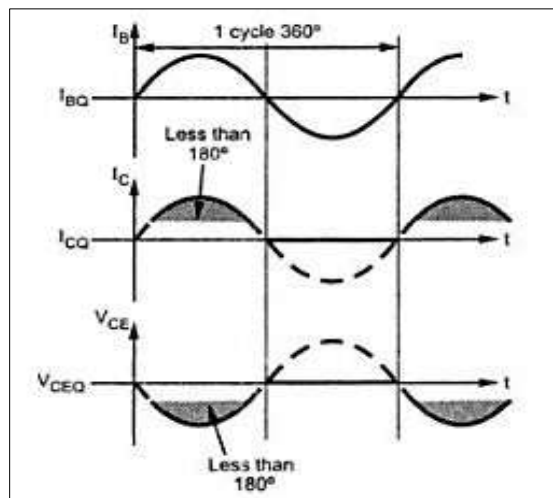


Figure 2.14 Fonctionnement d'un amplificateur classe C

Le flux de courant de collecteur pour 360° (cycle complet) du signal d'entrée. En d'autres termes, l'angle du flux de courant de collecteur est 360° un cycle complet.

Les formes d'ondes de courant et de tension pour un fonctionnement en classe A sont représentés à l'aide de caractéristiques de sortie et la ligne de charge, dans la Fig. 5.6. Comme représenté sur la Figure 2.14, pour un cycle complet d'entrée, un cycle complet de sortie est obtenu.

Voici signal est fidèlement reproduit, à la sortie, sans aucune distorsion. C'est un élément important d'un fonctionnement en classe A. L'efficacité de fonctionnement de classe A est très faible. [19]

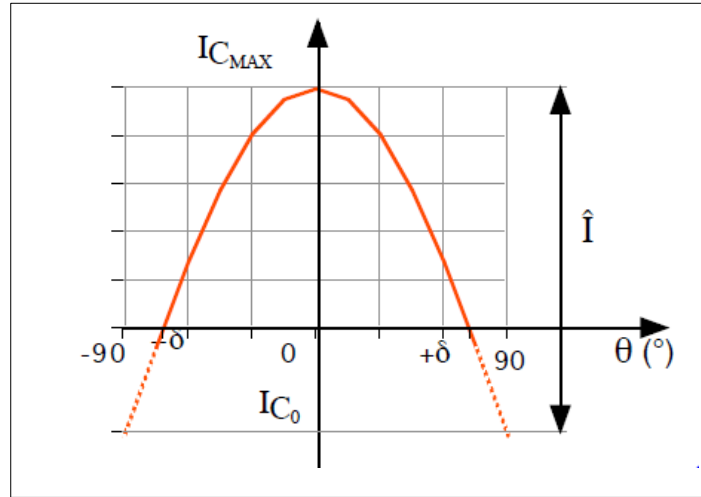


Figure 2.15 L'angle de conduction d'amplificateur classe C

Écrivons l'expression du courant I_c dans le transistor après lui avoir fait subir une avance de $\pi/2$ pour le rendre pair; le transistor conduit sur $[-\delta, +\delta]$ avec $\delta = \pi/2 - \alpha$

$$I_C = I \cos \theta - (I - I_{C_{MAX}}) \Rightarrow I_{C_{MAX}} = I(1 - \cos \delta) \text{ car } (I - I_{C_{MAX}}) = I \cos \delta$$

$$I_C = I(\cos \theta - \cos \delta) = I_{C_{MAX}} = \frac{\cos \theta - \cos \delta}{1 - \cos \delta} \quad \text{Eq 2.39}$$

À tension aux bornes de la charge vaut:

$$U_{CH} = U_{CH} \cos \theta \text{ avec } U_{CH_{MAX}} = E \quad \text{Eq 2.40}$$

Du fait de la présence du circuit LC accordé [20].

c) Puissance :• **Puissance utile**

$$P_u = \frac{1}{\pi} = \int_0^\sigma I_{CU} U_{CH} d\theta = \frac{1}{4} \int_0^\sigma I_{C_{MAX}} \frac{\cos \theta - \cos \sigma}{1 - \cos \sigma} U_{CH} \cos \theta d\theta \quad \text{Eq 2.41}$$

$$P_u = \frac{U_{CH} I_{C_{MAX}}}{4\pi} \frac{2\delta - \sin 2\sigma}{1 - \cos \sigma} > P_{U_{MAX}} = \frac{E I_{C_{MAX}}}{4\pi} \frac{2\delta - \sin 2\sigma}{1 - \cos \sigma} \quad \text{Eq 2.42}$$

• **Puissance fournie par l'alimentation :**

$$P_f = \frac{1}{\pi} \int_0^\sigma I_C E d\theta = \frac{1}{\pi} \int_0^\sigma I_{C_{MAX}} \frac{\cos \theta - \cos \delta}{1 - \cos \delta} E d\theta \quad \text{Eq 2.43}$$

$$P_f = \frac{E I_{C_{MAX}}}{\pi} \frac{\sin \delta - \delta \cos \delta}{1 - \cos \delta} \quad \text{Eq 2.44}$$

• **La puissance moyenne dissipée dans le transistor P_T est donnée par :**

$$P_T = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{+\pi} v_C(\omega t) i_C(t) d(\omega t) \quad \text{Eq 2.45}$$

$$= \frac{V_{CC} I_C}{\pi(1 - \cos \delta)} \int_0^\delta (1 - k \cos \omega t)(\cos \omega t - \cos \delta) d(\omega t)$$

$$P_T = \frac{V_{CC} I_C}{\pi(1 - \cos \delta)} \left[\sin \delta - \delta \cos \delta - \frac{k}{4} (2\delta - \sin 2\delta) \right] \quad \text{Eq 2.46}$$

[20]

d) Rendement:

$$\eta = \frac{P_u}{P_f} = \frac{1}{4} \frac{U_{CH}}{E} \frac{2\delta - \sin 2\delta}{\sin \delta - \delta \cos \delta} > \eta_{MAX} = \frac{1}{4} \frac{2\delta - \sin 2\delta}{\sin \delta - \delta \cos \delta} \quad \text{Eq 2.47}$$

Étude de différents régimes [20] :

- $2\delta = \pi$ (cas limite de la classe B) $\eta_{MAX} = \pi / 4$
- $2\delta = \pi/2$ $\eta_{MAX} = 95\%$
- $2\delta \rightarrow 0$ (limite de fonctionnement) $\eta_{MAX} \rightarrow 1$ (développement limité à l'ordre 3)

Utilisation :

Les amplificateurs de classe C sont utilisés pour réaliser des amplificateurs ultrasoniques, hautes fréquences sélectifs et micro-ondes ainsi que des oscillateurs hautes fréquences. Les amplificateurs de classe C sont aussi utilisés pour réaliser des multiplicateurs de fréquence. [22]

II.4-4) Amplificateur Classe D :

Les amplificateurs de classe D sont couramment utilisés pour le contrôle des moteurs électriques (on parle alors de hacheur ou d'onduleur). Ils sont aussi utilisés comme amplificateurs audio.

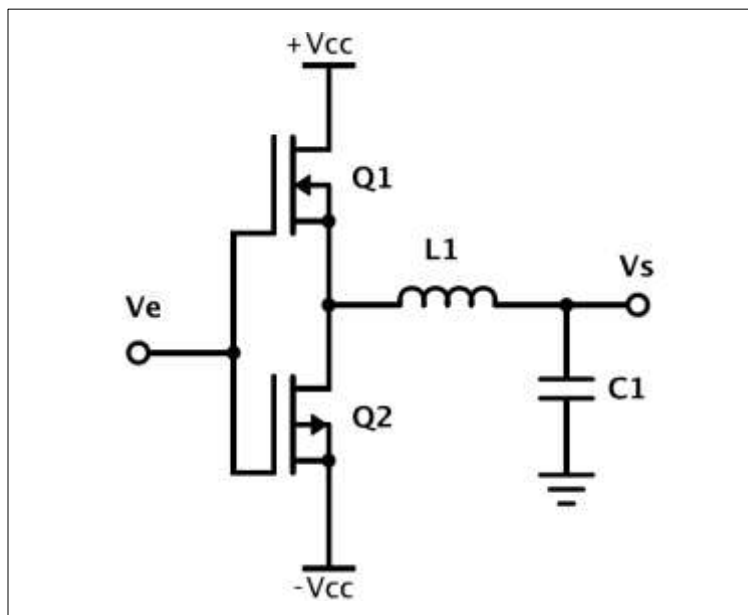


Figure 2.16 : Amplificateur classe D

Un amplificateur de puissance en classe D est constitué d'un étage de deux transistors montés en cascode, avec un signal carré en entrée. L'architecture de l'amplificateur est présentée à la Figure 2-16. Dans la classe D, les transistors opèrent en commutation. Ils sont connectés de sorte qu'ils fonctionnent en antiphasé. Lorsque le premier est saturé, le second est en mode bloqué et vice-versa. En outre, les transistors sont couplés à un circuit résonnant L-C en série qui permet d'avoir un courant sinusoïdale en sortie. La forme des différents signaux d'entrée et de sortie de l'amplificateur en classe D, Théoriquement, l'amplificateur de puissance en classe D peut fournir un rendement de

100%. Cependant, le rendement en pratique est seulement de 80% environ car les commutations des transistors entraînent des pertes d'énergie. Ce type d'amplificateur est utilisé dans les applications audio. [23]

II.4-5) Amplificateur classe E :

Les amplificateurs de classe E sont des amplificateurs à haut rendement. Ils sont généralement utilisés pour amplifier les fréquences radio. Le principe des amplificateurs de classe E a été publié pour la première fois en 1975 par Nathan O. Sokal et Alan D. Sokal . L'amplificateur de classe E comporte un transistor qui opère en commutation avec un signal parfaitement carré en entrée. A l'instar de la classe D, la classe E peut avoir un rendement théorique de 100% en minimisant les pertes de puissance en transition.

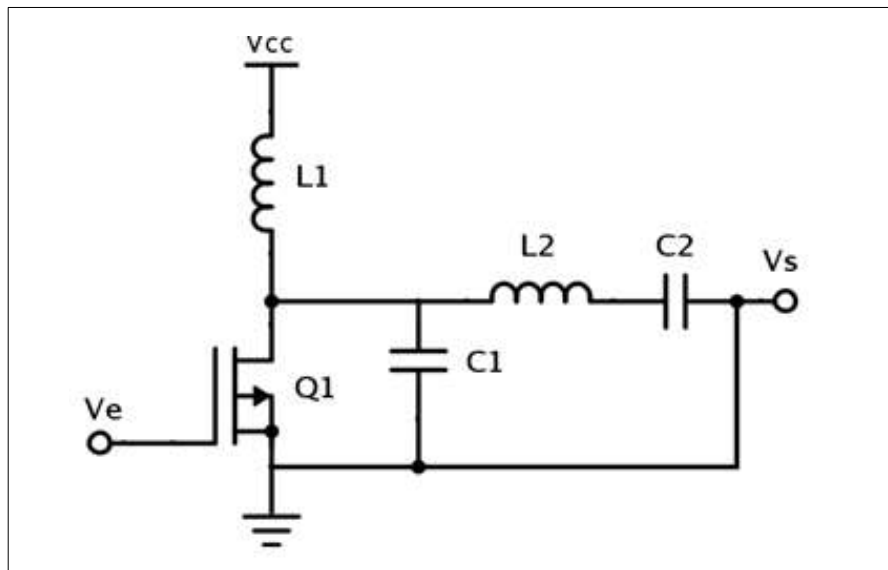


Figure 2.17: Amplificateur classe E

La classe E est une classe où le mode de fonctionnement du transistor est soit passant soit bloqué. Cette classe a été développée dans le but d'améliorer le rendement en diminuant la puissance dissipée. Elle se base sur la classe D dont le principe est le suivant: lorsqu'un courant apparaît aux bornes du transistor, la tension de drain ou de collecteur doit être minimale et inversement. [23]

II.4-6) Amplificateur classe F :

Comme les amplificateurs de classe E, les amplificateurs de classe F sont également à haut rendement. Ils sont aussi généralement utilisés pour amplifier les fréquences radio. Cette classe d'amplificateurs est uniquement utilisée pour la gamme de fréquences radioélectriques, où l'analyse de l'amplificateur se fait dans le domaine fréquentiel et non dans le domaine tension/courant.

A l'image des autres amplificateurs à commutation, la classe F intègre un transistor qui fonctionne tel un interrupteur afin d'avoir un rendement très élevé. Étant donné que la commutation du transistor ne se fait pas de manière drastique, il en résulte des pertes énergétiques qui réduisent l'efficacité de l'amplificateur. Dans la classe F, le principe consiste à éliminer les dissipations en écrêtant le potentiel du drain. Des circuits résonnant sont placés à la sortie du transistor pour ajouter des harmoniques au signal de drain afin de l'approcher le plus possible d'un signal carré. Le nombre d'harmoniques en sortie détermine la forme du signal et le rendement de l'amplificateur en classe F.

Un rendement de 100% pour la classe F nécessiterait une infinité de filtres résonnant à la sortie du transistor, ce qui est impossible. En pratique, les filtres sont remplacés par une ligne de transmission quart-d'onde. La Figure 2.18 ci-dessous expose le schéma de l'amplificateur en classe F. [23]

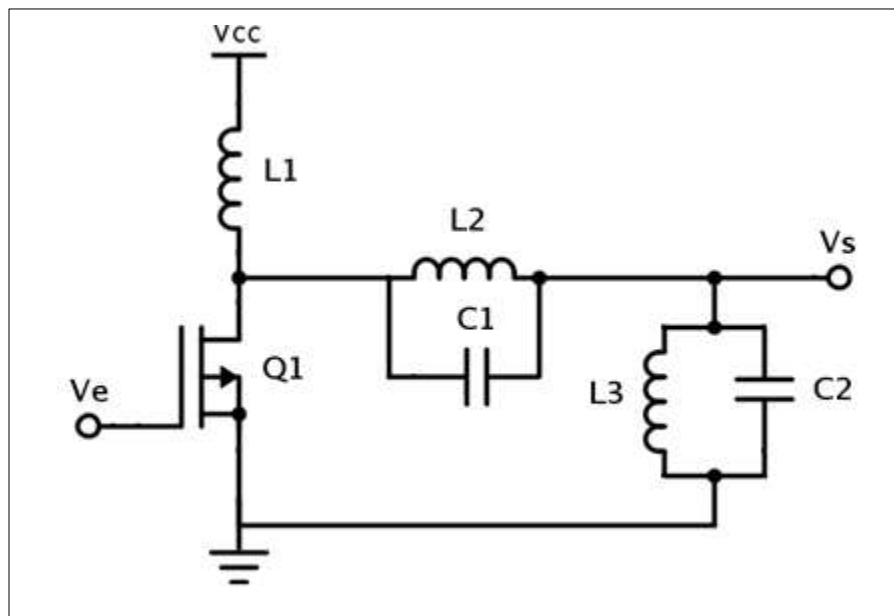


Figure 2.18 : Amplificateur classe F

II.4-7) Les autres classes :

Il existe une multitude d'autres classes que celles décrites dans les paragraphes précédents. Ces autres classes se basent généralement sur les classes A, B, C ou D dont elles modifient légèrement le principe de base ou les cascaden entre elles afin d'en améliorer les caractéristiques ou de disposer des avantages de deux classes différentes. Par exemple, la Amplificateur de classe T, qui est une marque déposée de TriPath, est constitué d'un amplificateur de classe D fonctionnant à une fréquence de 650 kHz, et d'un système de modulation propriétaire.

II.5 Conclusion :

Selon les caractéristiques et le fonctionnement les différent classes d'amplificateurs de puissance sont utilisés, pour les forts signaux on a besoin des amplificateurs à haut rendement par exemple (dans une antenne les distances entre émetteur et récepteur est courant pour cela ont utilisé l'amplificateur classe C). Et pour les faibles signaux on utilise amplificateur a faible ou moyenne rendement par exemple (dans un capteur de température ont utilisé amplificateur classe A).

Classe de fonctionnement		Puissance	Rendement	Gain	Linéarité
A	$\delta = 360^\circ$	Elevée	25%	Fort	Bonne
B	$\delta = 180^\circ$	Elevée	78.5%	Moyenne	Moyenne
AB	$180^\circ < \delta < 360^\circ$	Elevée	50% - 78.5%	Faible	faible
C	$0^\circ < \delta < 180^\circ$	Décroît avec l'angle de conduction	78.5% - 100%	Très Faible	Forte distorsion

Tableau 2.1 Les fondamentaux caractéristiques des amplificateurs classes (A, B, AB, C)

Chapitre

III

- ***Réalisations des différentes classes de PA***

III.1 *Réalisation d'amplificateur classe A*

III.2 *Réalisation d'amplificateur classe B*

III.3 *Réalisation d'amplificateur classe AB*

III.4 *Réalisation d'amplificateur classe C*

III.5 *Fabrication d'amplificateur de puissance classe A*

III.1 Introduction:

Dans le précédent chapitre nous rappelons l'objectif d'amplificateurs dans un système de transmission et ces caractéristique, fonctionnements et différents classes, Ce chapitre constitue le cœur de ce mémoire. Il est divisé en 4 sections. Les 4 sections décrivent la réalisation et la simulation de l'amplificateur de puissance classe (A, B, AB, C).

En effet, comme nous l'avons déjà mentionné dans le chapitre II, nos circuits serviront à amplifier des signaux.

III.2 Réalisation d'amplificateur de puissance Classe A



III.2-1 Circuit utilisé :

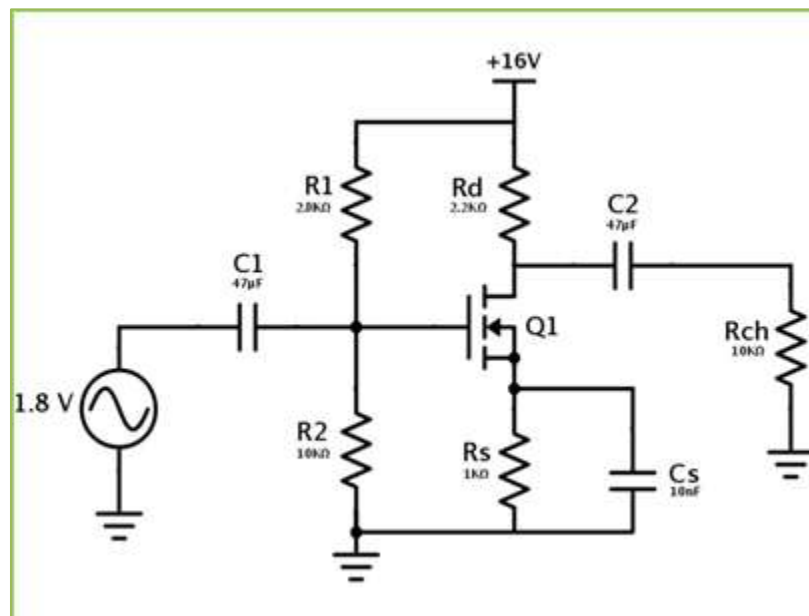


Figure 3.1 Schéma d'amplificateurs classe A

III.2-2 Les composant et matériels utilisés :

Composant	Matériels
- $R1 = 20\text{ k}\Omega$	- Oscilloscope GOS-620FG
- $R2 = 10\text{ k}\Omega$	- GBF 8020H
- $Rd = 2.2\text{ k}\Omega$	- Multimètre HONTEK A830L
- $Rs = 1\text{ k}\Omega$	- Multimètre multimétrix
- $C1 = 47\text{ }\mu\text{F}$	- Module KL 21001
- $C2 = 47\text{ }\mu\text{F}$	- Module BREABBORD AC-90001
- $Cs = 10\text{ }\mu\text{F}$	
- $Q1 = \text{IRFZ44N}$	

III.2-3 Partie pratique :

Nous avons injecté les composant dans la plaque d'essai pour monter le circuit précédent (figure 3.1) :

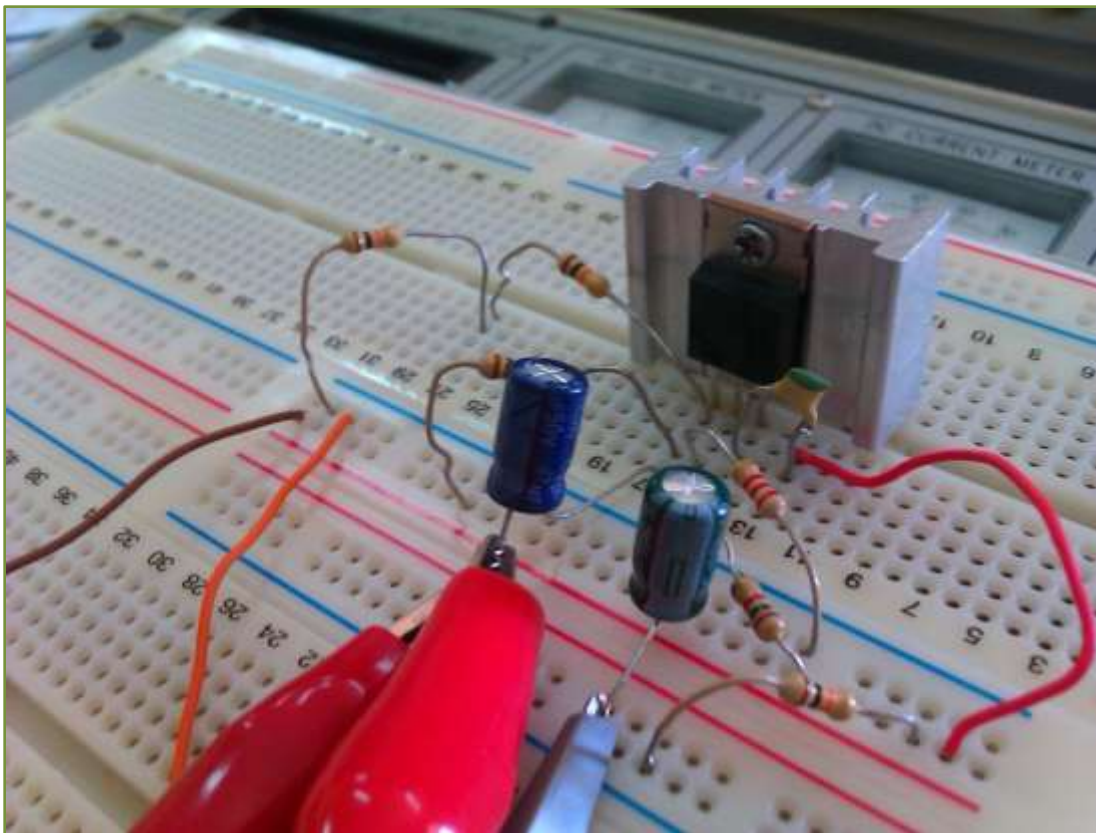


Figure 3.2 Schéma d'amplificateur classe A réalisé dans la plaque d'essai

On a alimentée le GBF et réglée la tension et la fréquence a ($U_{\max} = 2.5\text{V}$, $F = 3.8\text{kHz}$) :



Figure 3.3 Les caractéristiques du signal d'entrée d'amplificateur classe A

Lorsque on alimentée Module KL-21001 et réglée la tension a 16 V ($V_{cc} = 16\text{V}$) on visualisée dans l'oscilloscope les signaux suivants :

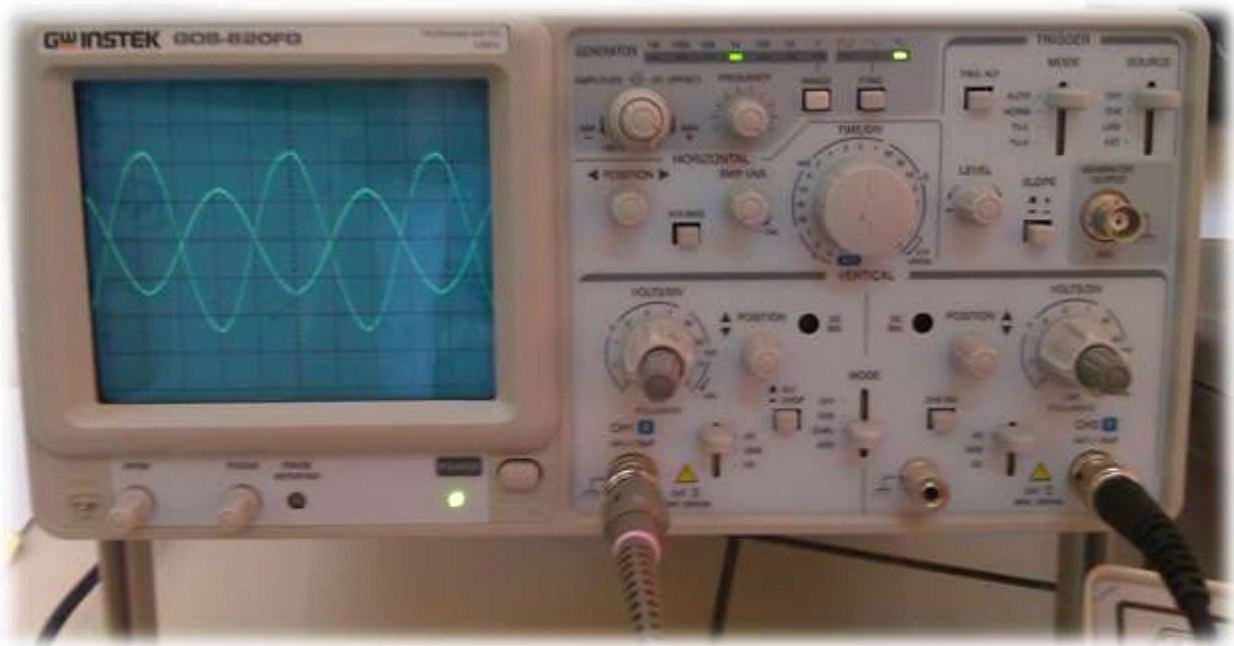


Figure 3.4 Signaux visualise d'amplificateur classe A par l'oscilloscope

	Signal de entre CHII	Signal de sortie CHI
L'amplitude	2.6 V	4.3 V
Le période	263.157 us	263.157us

Tableau 3.1 Les caractéristiques des signaux de PA classe A visualise par l'oscilloscope

On remarque que:

- La tension max de signal de sortie est supérieure à la tension max de signal d'entrée.
- Le signal de sortie déphase 180° par rapport le signal d'entrée.
- On visualise que le PA est amplifiée la tension par ce que le montage est (Emetteur – Commun).

Les mesures (courant/tension):

Les valeurs mesurent d'amplificateur classe A						
I_{ch}	I_d	I_g	V_e	V_{ch}	V_{gs}	V_{ds}
310 μ A	2.3mA	58.4 μ A	1.83 V	3.1 V	5.34 V	-8.5 V

Tableau 3.2 Les valeurs mesurées pour amplificateur classe A

- La tension $V_{ds} \approx \frac{1}{2} \times V_{cc}$ et $I_d \approx \frac{V_{cc}}{R_d + R_s}$ C'est-à-dire l'amplificateur est très proche a la point de repos.

Les calculs de puissances de PA Classe A :

$$V_{CH} = R_{CH} I_{CH} = 10^4 \times 0.00031 = 3.1v$$

$$P_e = V_e \times I_e = 1.83 \times 270 \times 10^{-6} = 0.494mW$$

$$P_U = I_C \times V_{CH} = 6.92 mW$$

$$P_t = V_{ds} \times I_d = 8.5 \times 2 \times 10^{-3} = 17 mW$$

$$P_f = I_d \times V_{CC} = 2.3 \times 10^{-3} \times 16 = 36.8 mW$$

$$\eta = \frac{P_U}{P_f} = \frac{6.92}{36.8} \times 100 = \mathbf{18.80\%}$$

Les valeurs calculées d'amplificateur classe A				
P_e	P_U	P_F	P_T	η
0.494mW	6.92 mW	36.8 mW	17 mW	18.80 %

Tableau 3.3 Les valeurs calculées pour amplificateur classe A

III.2-4 Partie théorique :

Schéma statique :

On calculé la valeur de ce circuit théoriquement par un programme dans Matlab :

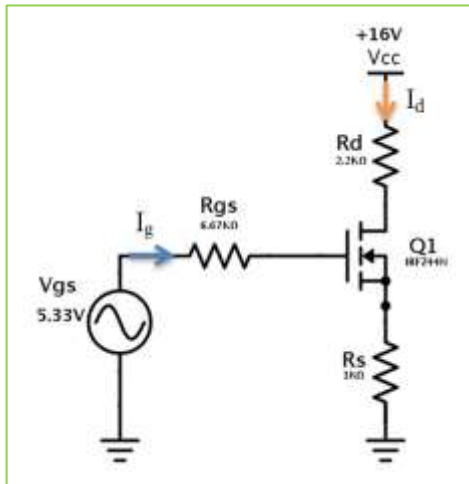


Figure 3.5 Schéma statique d'amplificateur classe A

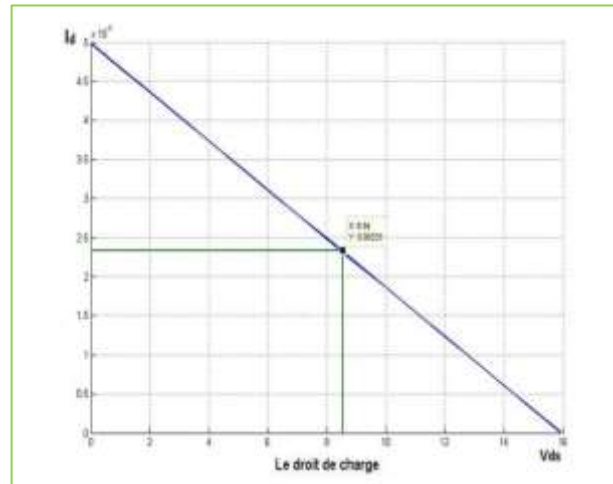


Figure 3.6 Droit de charger statique d'amplificateur classe A

Les coordonnées du point de repos est dans le milieu de droit de charge et ce résultat vérifier les valeurs pratiques.

Vgs	Rgs	Ig	Id	Vds	rds
5.33 V	6.67k	58.5μA	2.32 mA	8.5455	3.6K

Tableau 3.4 Les calculs théoriques pour amplificateur classe A (schéma statique)

Schéma dynamique :

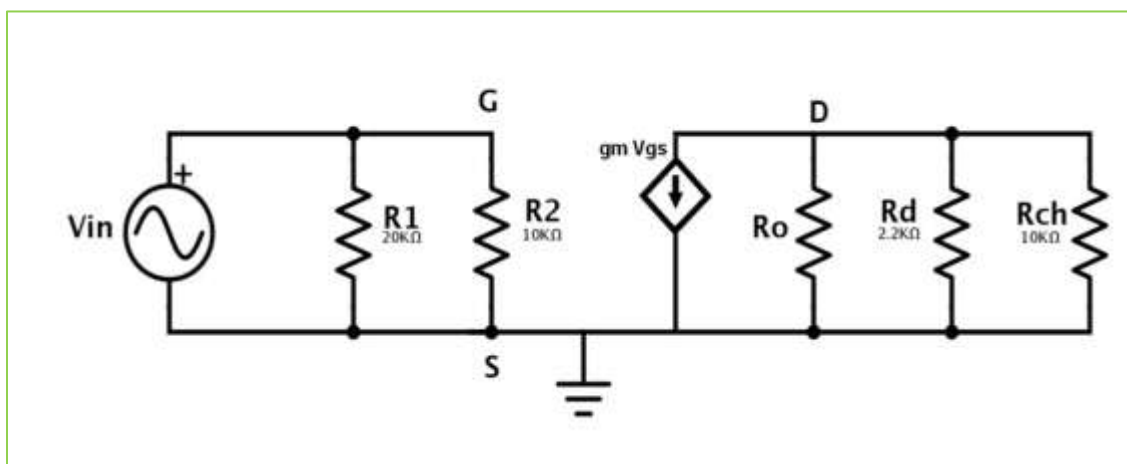


Figure 3.7 Schéma dynamique d'amplificateur classe A

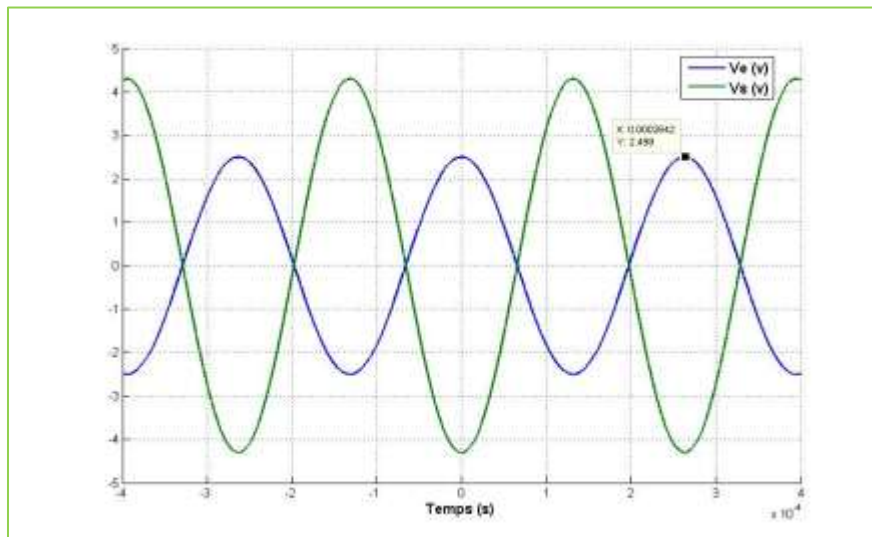


Figure 3.8 Signal d' sortie d'amplificateur classe A tracé par le Matlab

	V_e	V_s
L'amplitude	2.5 V	4.3 V
Le période	263.157 us	263.157us

Tableau 3.5 Les caractéristiques des signaux de PA classe A tracé par le Matlab

Z_e	Z_s	A_v	A_i	A_p
6.67 k	23.610 k	-4.80	-1.35	6.48

Tableau 3.6 Les calculs théoriques pour amplificateur classe A (schéma dynamique)

III.2-5 La simulation de PA classe A par logiciel Proteus 8.0 Professional:

On simule le circuit dans la figure (3.1) :

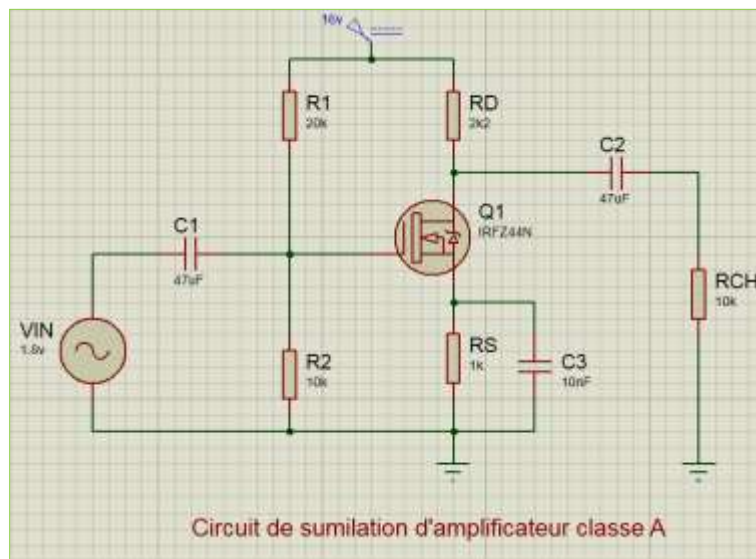


Figure 3.9 Circuit d'amplificateur classe A simule

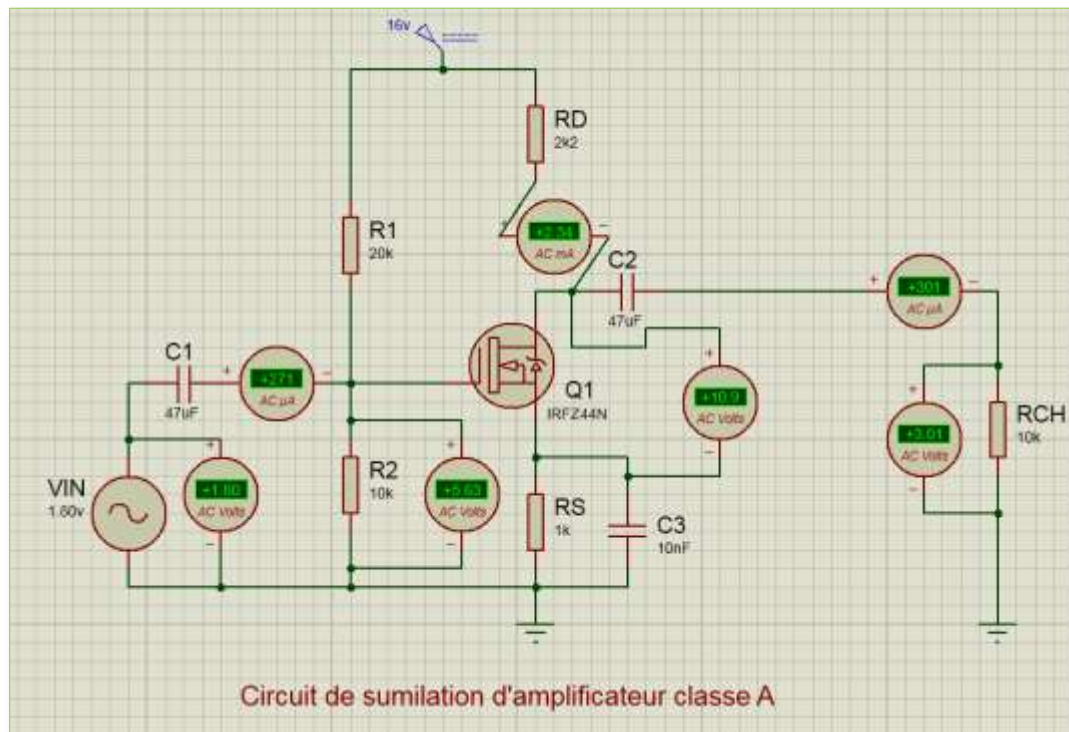


Figure 3.10 Les valeurs de simulation courant et de tension pour la classe d'amplificateur A

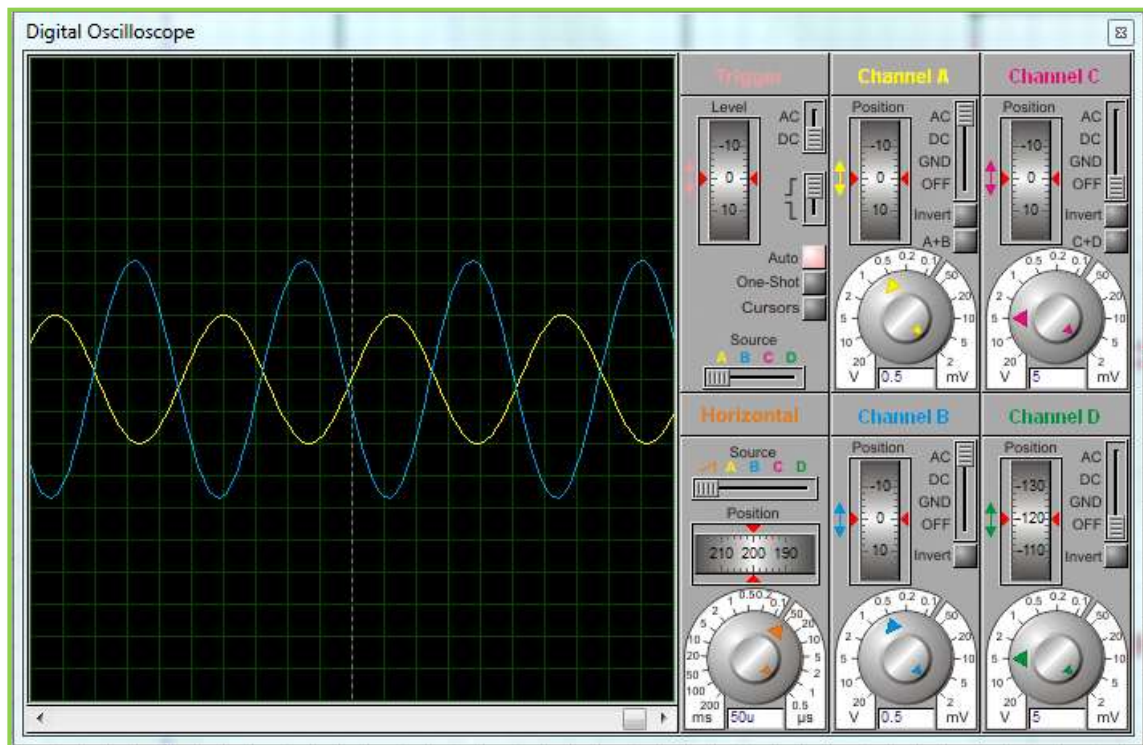


Figure 3.11 Signaux visualise de PA classe A par simulation

Les valeurs de simulation d'amplificateur classe A						
I_{ch}	I_d	I_{in}	V_{in}	V_{out}	V_{gs}	V_{ds}
301 μ A	2.34mA	271 μ A	1.80 V	3.01 V	5.63 V	10.9 V

Tableau 3.7 Les valeurs de simulation pour amplificateur classe A

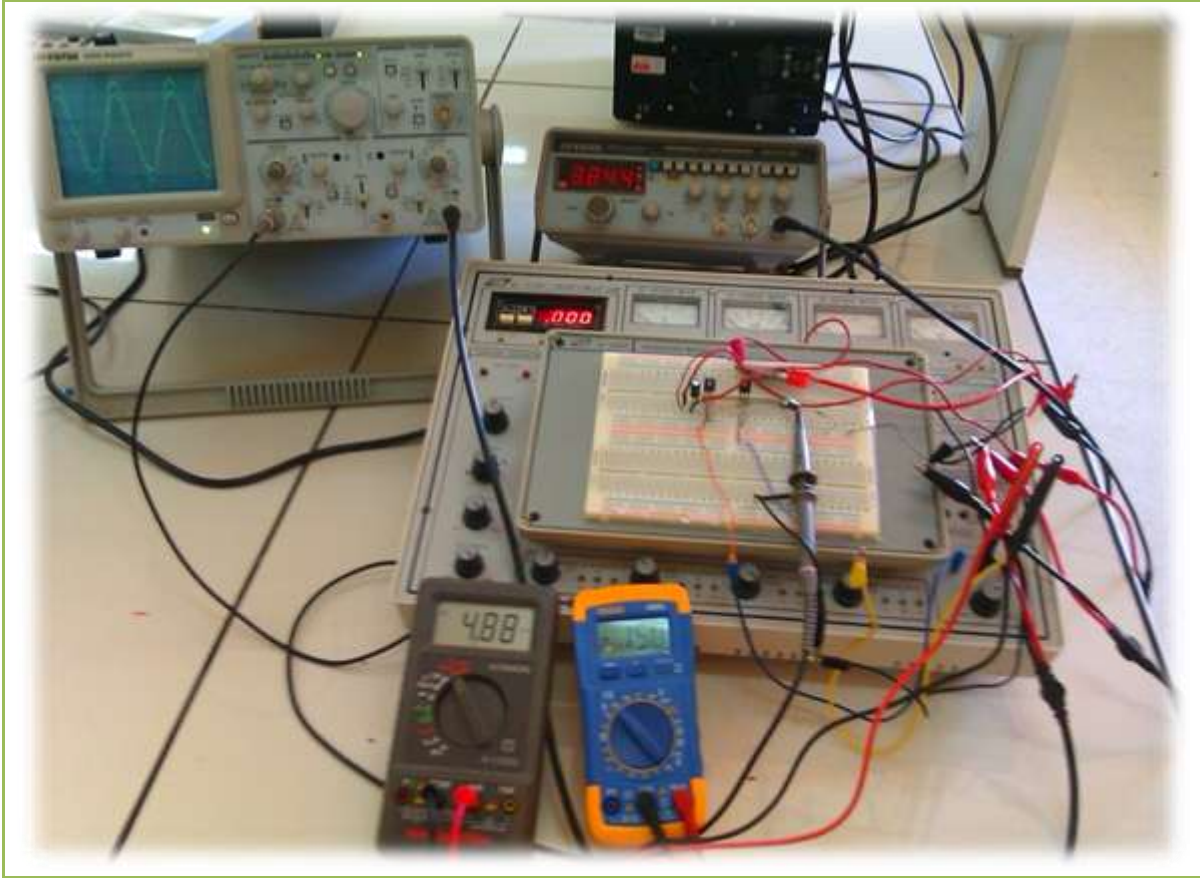
Pe	Pu	Pf	Pt	η
0.48mW	7.04mW	37.44mW	19.89mW	18.81 %

Tableau 3.8 Les calculés des valeurs de simulation pour amplificateur classe A

Les composant actif conduisent pendant toute la période du signal d'entrée on observe très peu de distorsion, mais un très faible rendement **18.8 %**. Utilises en audio fréquence, pour avoir de haute-fidélité.

Après les résultats obtenus par la simulation et les mesures de réalisation et les calculs théoriques.

III.3 Réalisation d'Amplificateur de puissance Classe B



III.3-1 Circuit utilisé :

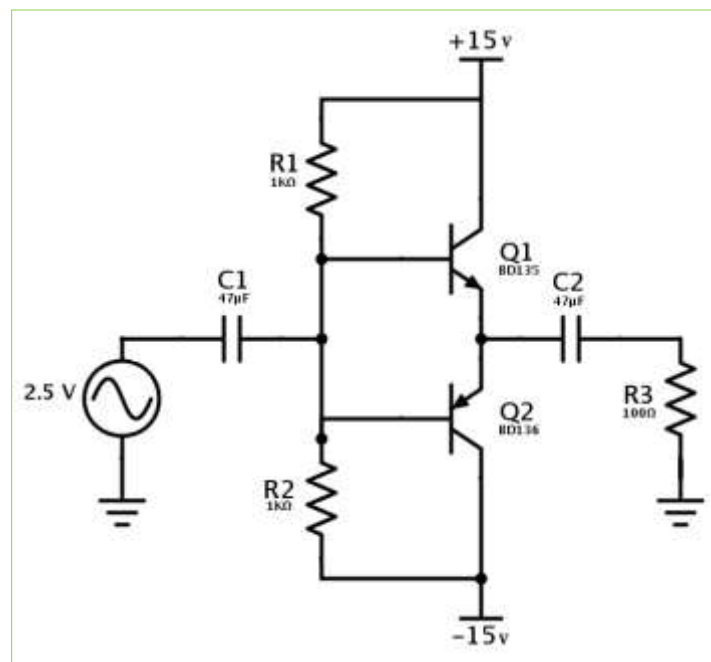


Figure 3.12 Schéma d'amplificateurs classe B

III.3-2 Les composant et matériels utilisés :

Composent	Matériels
- R1 = 1 kΩ - R2 = 1 kΩ - R3 = 100Ω - C1 = 47 μF - C2 = 47 μF - Q1=BD135 - Q2=BD136	- Oscilloscope GOS-620FG - GBF 8020H - Multimètre HONTEK A830L - Multimètre multimétrix - Module KL 21001 - Module BREABBORD AC-90001

III.3-3 Partie pratique :

Nous avons injecté les composant dans la plaque d'essai pour monter le circuit précédent (figure 3.12) :

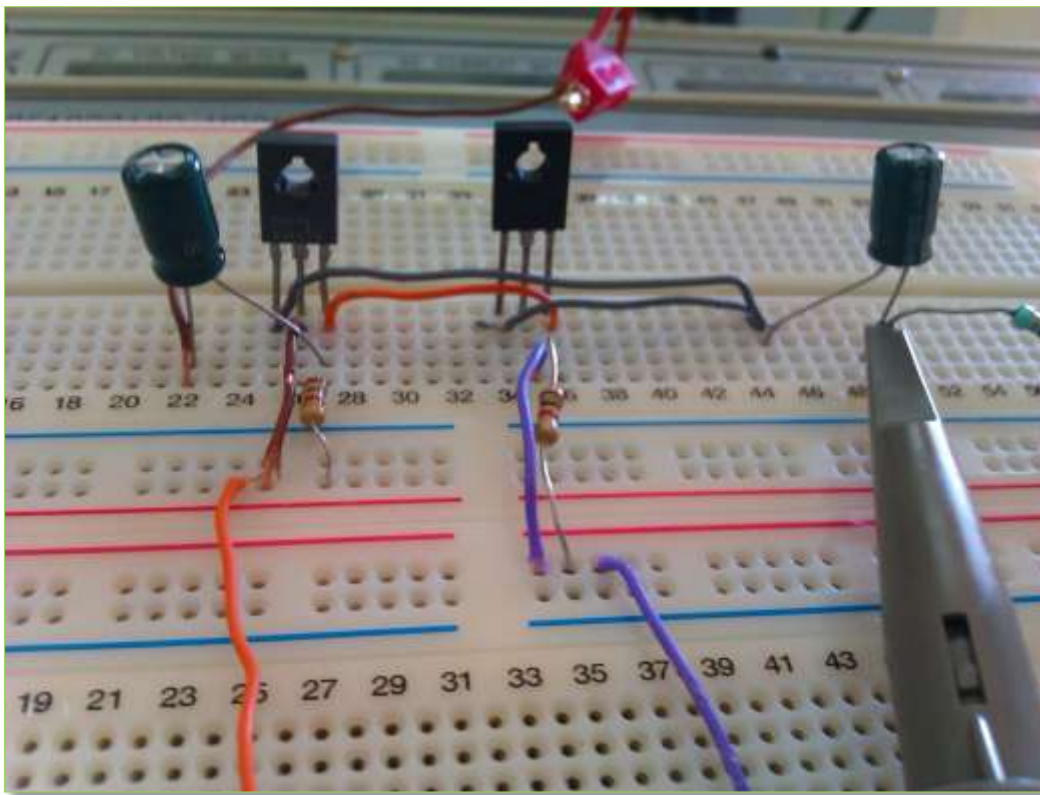


Figure 3.13 Schéma d'amplificateur classe B réalisé dans la plaque d'essai

On a alimentée le GBF et réglée la tension et la fréquence a ($U_{\max} = 3.6\text{v}$, $F=3.8\text{kHz}$) :



Figure 3.14 Les caractéristiques du signal d'entrée d'amplificateur classe B

Lorsque on alimentée Module KL-21001 et réglée la tension a 15 V ($V_{cc} = 15\text{ V}$) on visualisée dans l'oscilloscope le signal suivants :

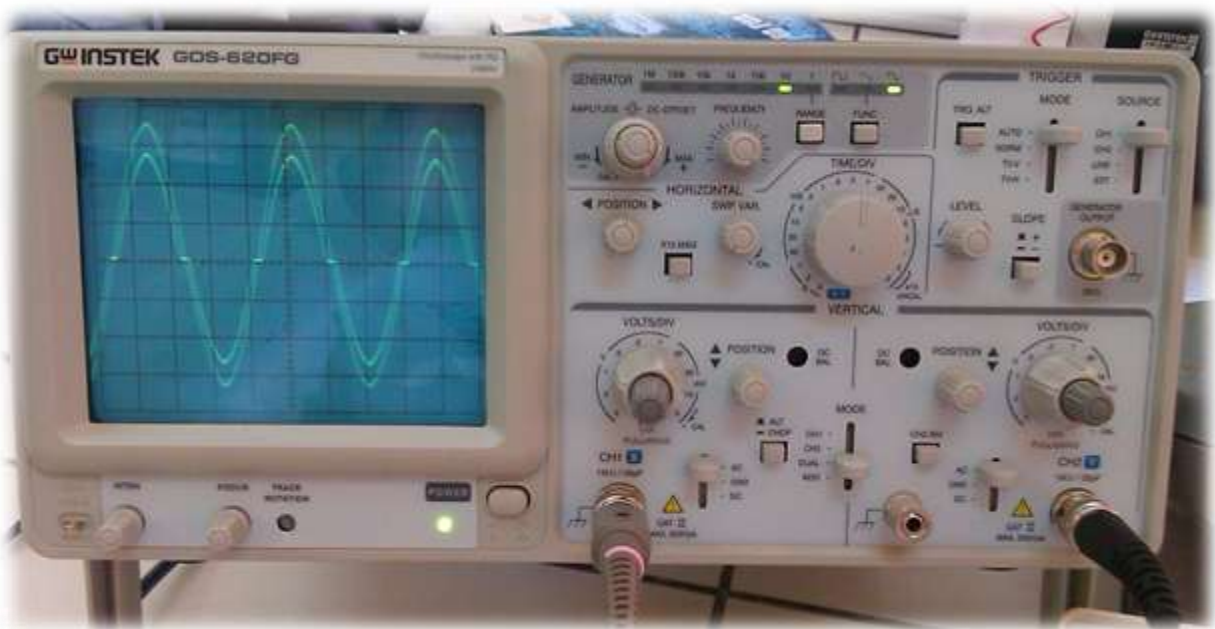


Figure 3.15 Signaux visualise d'amplificateur classe B par l'oscilloscope

	Signal de entre CHII	Signal de sortie CHI
L'amplitude	3.6 V	2.5V
Le période	263.157 μs	263.157 μs

Tableau 3.9 Les caractéristiques des signaux de PA classe B visualise par l'oscilloscope

On remarque que:

- l'amplitude (tension maximal) de signal de sortie est presque égale le signal d'entrée par ce que le montage est collecteur commun.
- Le signal de sortie déphase 0° par rapport le signal d'entrée.
- Il y a une distorsion dans le signal de sortie car la jonction **PN** (Base-Emetteur) dans les transistors qui conduit temps que la tension V_{BE} passe 0.7 v .
- Temps que la tension d'entrée limitée a $-0.7\text{ v} < V_e < +0.7\text{ v}$, car tant qu'aucun transistor n'est passant, $I_c=0$ et $V_e=V_{BE}$. Le courant I_B restera proche de 0 dans les transistors tant que la tension entre base et émetteur n'aura pas atteint 0.7 v (+ ou – suivante la type de transistor).

Les mesures (courant/tension):

Les valeurs mesurent d'amplificateur classe B						
I_{CH}	V_{CH}	V_{CC}	I_{c1}	I_{c2}	I_e	R_{CH}
16.91 mA	1.76V	15 V	8.45mA	8.46mA	4.48mA	100Ω

Tableau 3.10 Les valeurs mesurent pour amplificateur classe B

Les calculs de puissances de PA Classe B :

$$V_{CH} = R_{CH} \times I_{CH} = 100 \times 16.91 \times 10^{-3} = 1.69\text{ V}$$

$$P_e = V_e \times I_e = 4.48 \times 10^{-3} \times 2.54 = 11.37\text{mW}$$

$$P_U = I_{CH} \times V_{CH} = 16.91 \times 10^{-3} \times 1.76 = 0.0297\text{ W}$$

$$P_t = 2 \times V_{ce} \times I_c = 8.45 \times 10^{-3} \times 1.76 \times 2 = 0.029\text{ W}$$

$$P_f = 2 \times I_c \times V_{CC} = 8.45 \times 10^{-3} \times 15 = 0.2535\text{W}$$

$$\eta = \frac{P_U}{P_f} = \frac{0.0297}{0.2535} \times 100 = 11.71\%$$

Les puissances calculées d'amplificateur classe B				
P_e	P_U	P_F	P_T	η
11.37 mW	29.7 mW	0.2535W	29.74mW	11.71%

Tableau 3.11 Les valeurs calculées pour amplificateur classe B

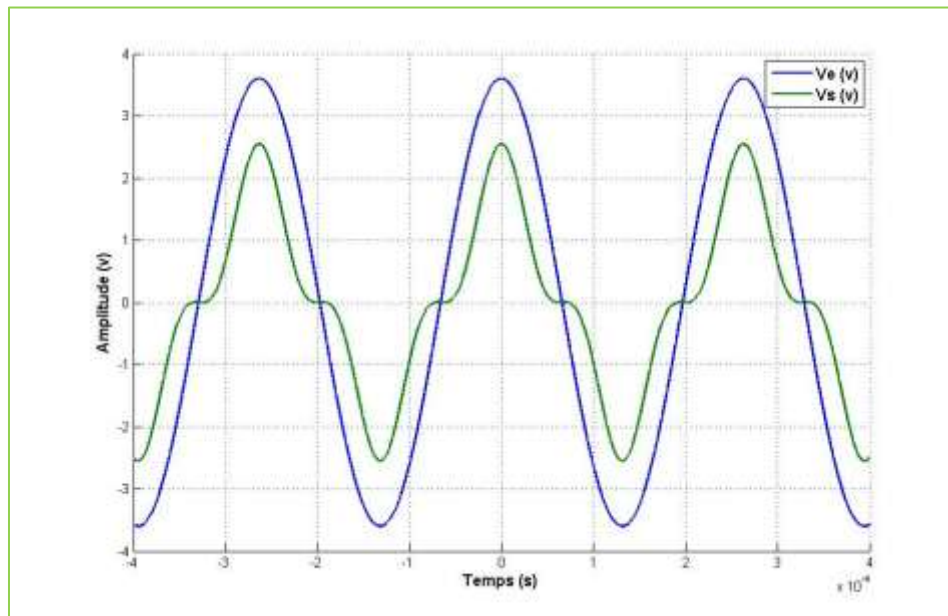


Figure 3.16 Signal d' sortie d'amplificateur classe B tracé par le Matlab

	Ve	Vs
L'amplitude	2.5 V	4.3 V
Le période	263.157 us	263.157us

Tableau 3.12 Les caractéristiques des signaux de PA classe B tracé par le Matlab

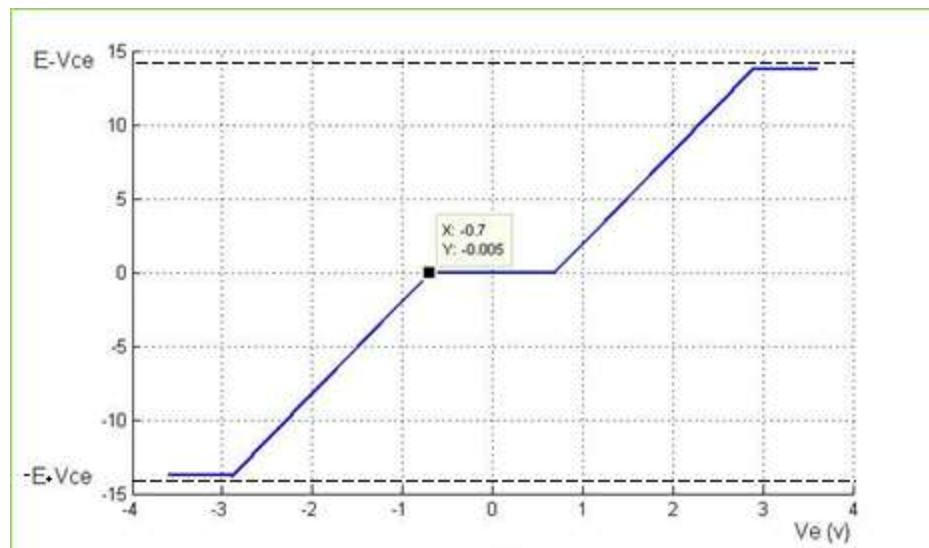


Figure 3.17 Caractéristique de transfère d'amplificateur classe B tracé par Matlab

Q_1 : est bloqué à la bande $[-2.9\text{v}, 0.7\text{v}]$, conduit à $[0.7\text{v}, 2.9\text{v}]$ et sature temps que $V_e \geq 3\text{v}$

Q_2 : est bloqué à la bande $[2.9\text{v}, 0.7\text{v}]$, conduit à $[-0.7\text{v}, -2.9\text{v}]$ et sature temps que $V_e \leq -3\text{v}$

III.3-4 La simulation de PA classe B par logiciel Proteus 8.0 Professional:

On simule le circuit dans la figure (3.12) :

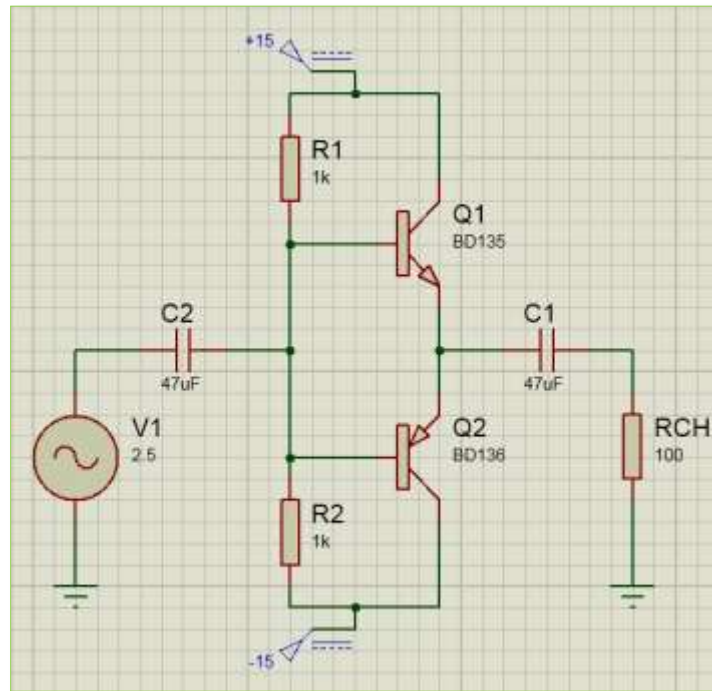


Figure 3.18 Circuit d'amplificateur classe B simulé

Le PA classe B aux cours de simulation :

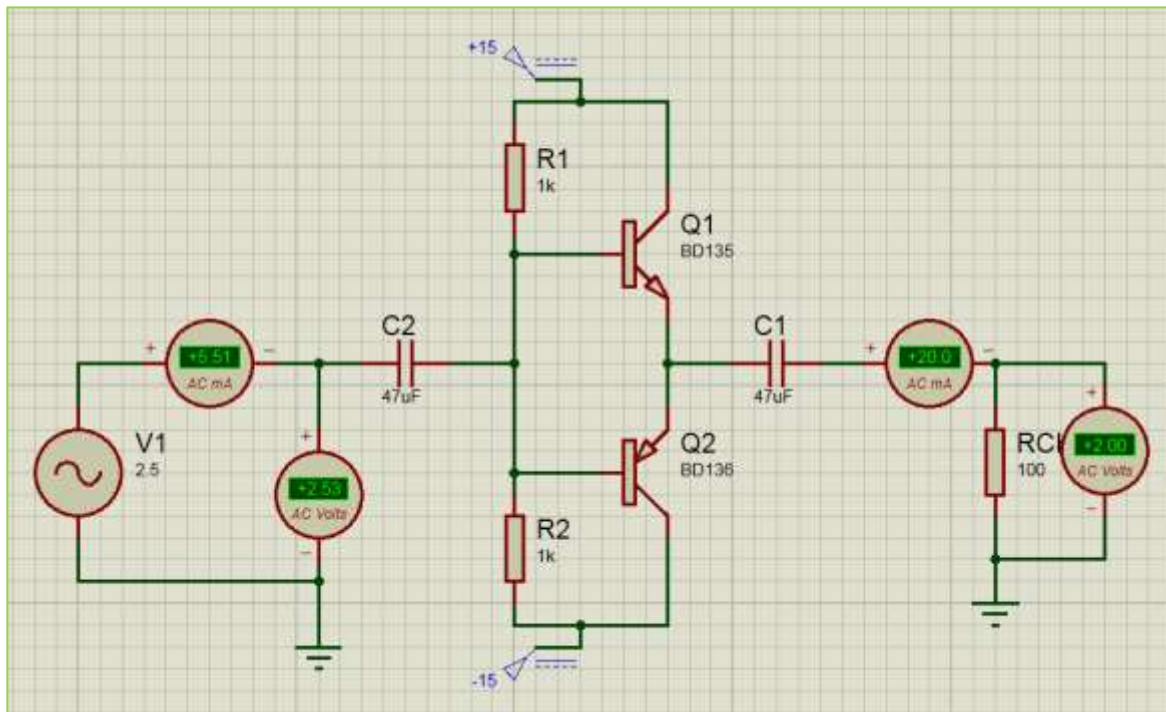


Figure 3.19 Les valeurs de simulation courant et de tension pour la classe d'amplificateur B

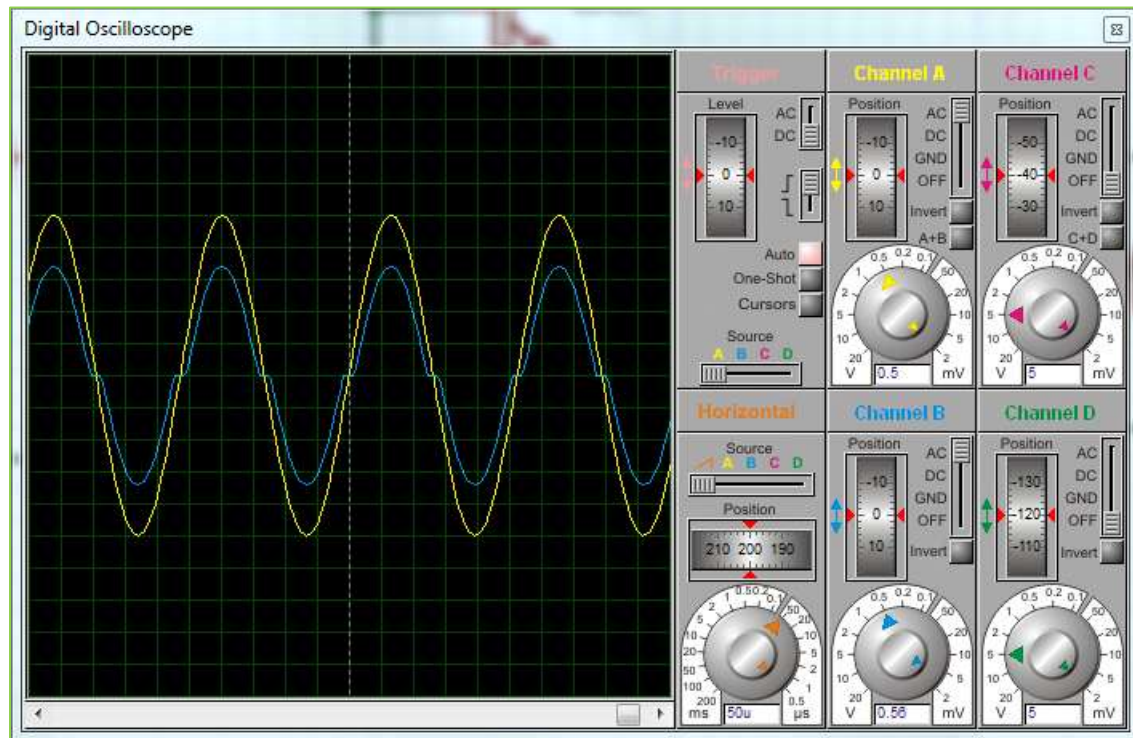


Figure 3.20 Signaux visualise d'amplificateur classe B par simulation

Les valeurs mesurent d'amplificateur classe B			
I_{ch}	U_{ch}	I_e	V_e
20mA	2V	5.51mA	2.53 V

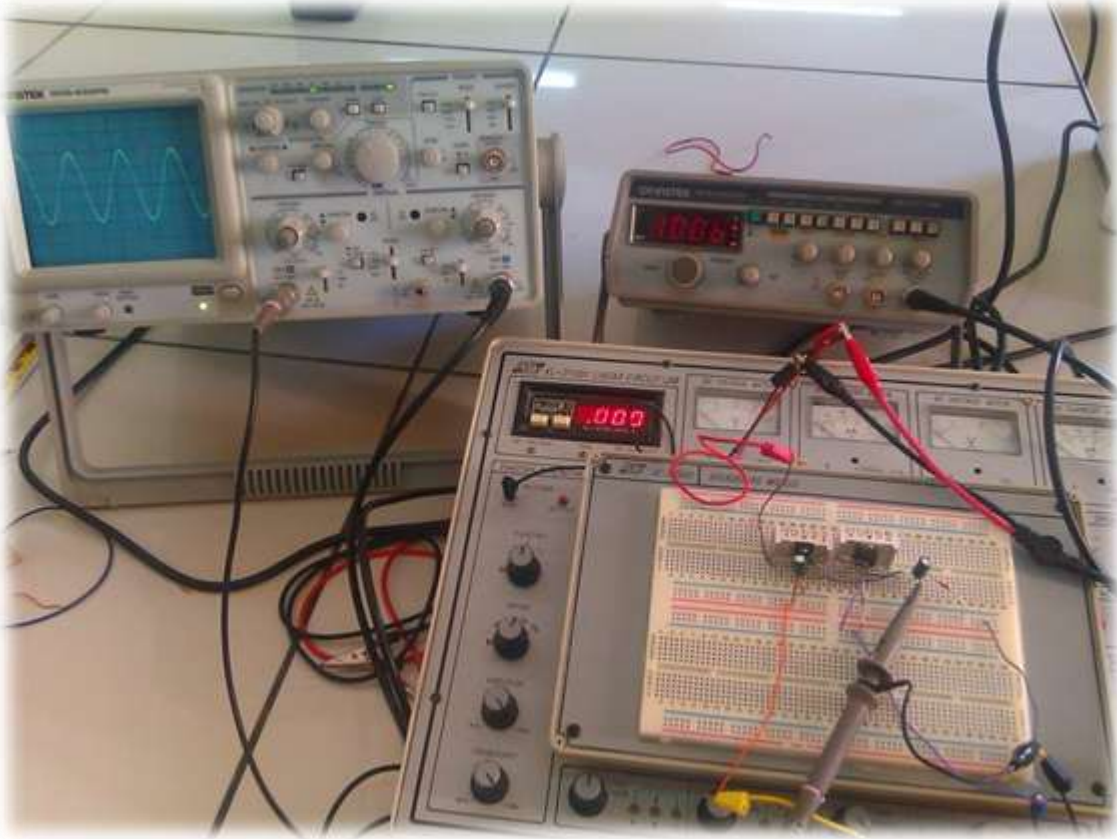
Tableau 3.13 Les valeurs de simulation pour amplificateur classe B

On calcule les puissances et le rendement avec la relation précèdent :

P_e	P_u	P_f	P_t	η
13.94 mW	40 mW	0.3W	15.38 mW	13.33 %

Tableau 3.14 Les calculés des valeurs de simulation pour amplificateur classe B

III.4 Réalisation d'Amplificateur de puissance Classe AB



III.4-1 Circuit utilisé :

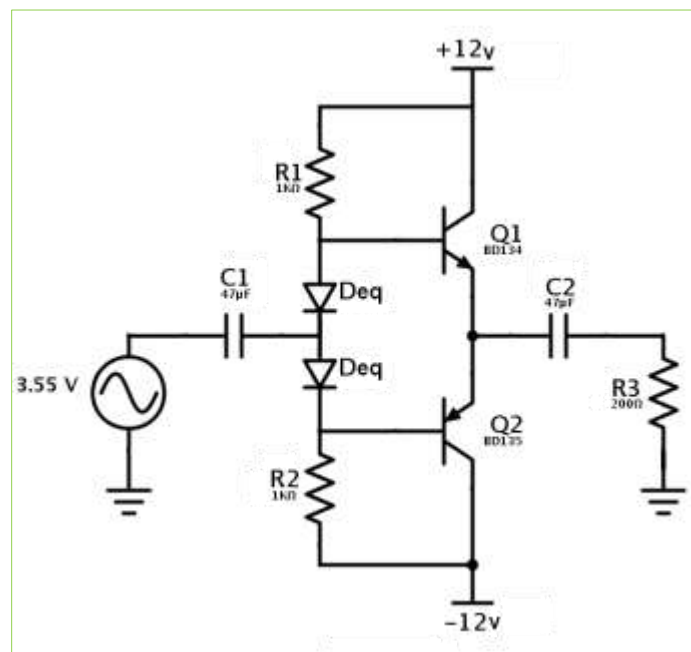


Figure 3.21 Schéma d'amplificateur classe AB

III.4-2 Les composent et matériels utilises :

Composent	Matériels
- R1 = 1 kΩ - R2 = 1 kΩ - R3 = 200 Ω - C1 = 47 μF - C2 = 47 μF - 2 Diode 1N4007 - 2 Diode Zener - Q1=BD434 - Q2=BD435	- Oscilloscope GOS-620FG - GBF 8020H - Multimètre HONTEK A830L - Multimètre multimétrix - Module KL 21001 - Module BREABBORD AC-90001

III.4-3 Partie pratique :

Nous avons injecté les composent dans la plaque d'essai pour monter le circuit précédent (figure 3.21) :

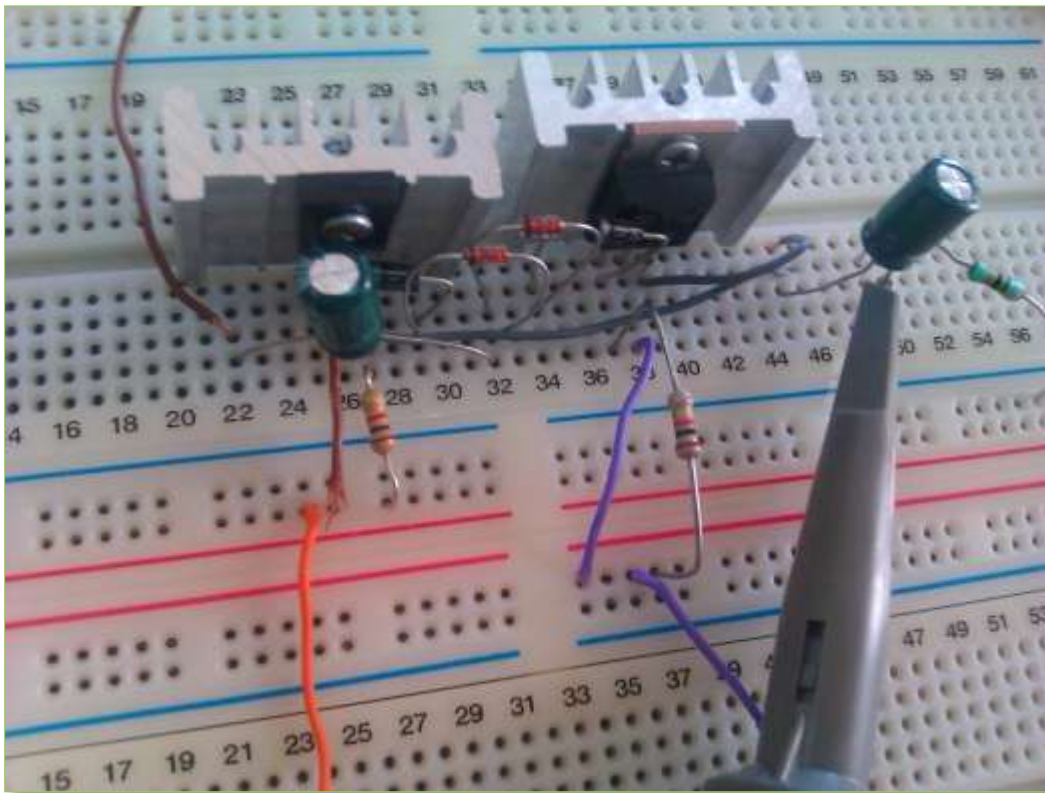


Figure 3.22 Schéma d'amplificateur classe AB réalisé dans la plaque d'essai

On a alimentée le GBF et réglée la tension et la fréquence a ($U_{\max} = 3.6\text{v}$, $F=1\text{kHz}$) :



Figure 3.23 Les caractéristiques du signal d'entrée d'amplificateur classe AB

Lorsque on alimentée Module KL-21001 et réglée la tension a 15 V ($V_{cc} = 15\text{ V}$) on visualisée dans l'oscilloscope le signal suivants :

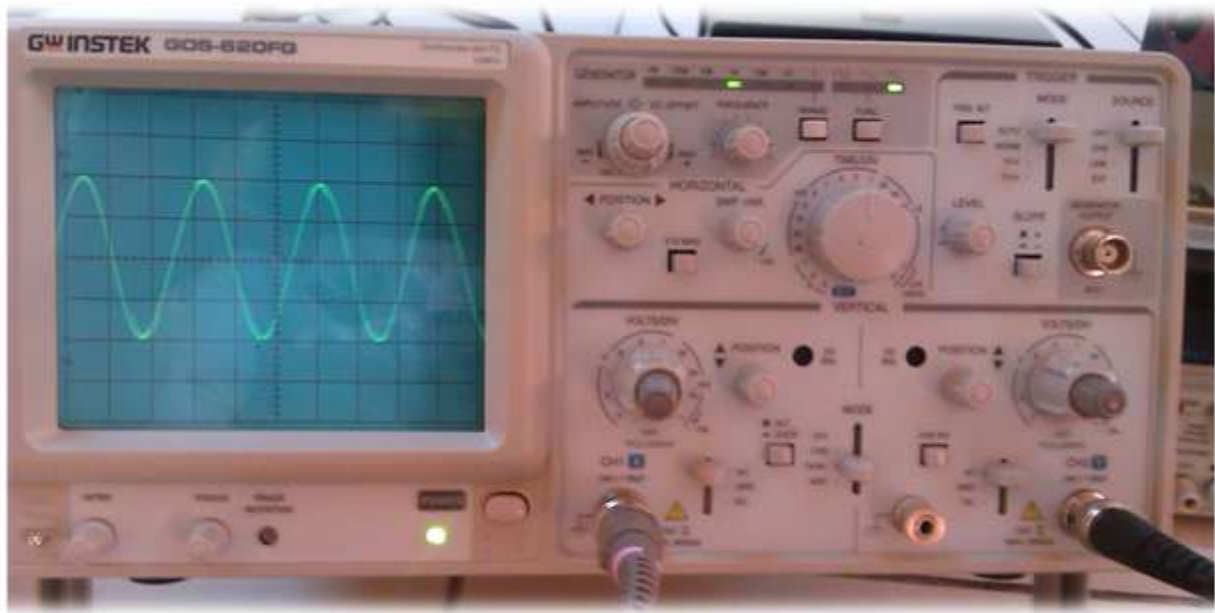


Figure 3.24 Signaux visualise d'amplificateur classe AB par l'oscilloscope

	Signal de entre CHII	Signal de sortie CHI
L'amplitude ($_{\max}$)	4 V	3.6V
Le période	1ms	1ms

Tableau 3.15 Les caractéristiques des signaux de PA classe AB visualise par l'oscilloscope

On remarque que :

- l'amplitude (tension maximal) de signal de sortie est presque égale le signal d'entrée par ce que le montage est collecteur commun.
- Le signal de sortie déphase 0° par rapport le signal d'entrée.
- Il y n'a pas la distorsion dans le signal de sortie (classe B) par ce que nous élimions par les diodes.

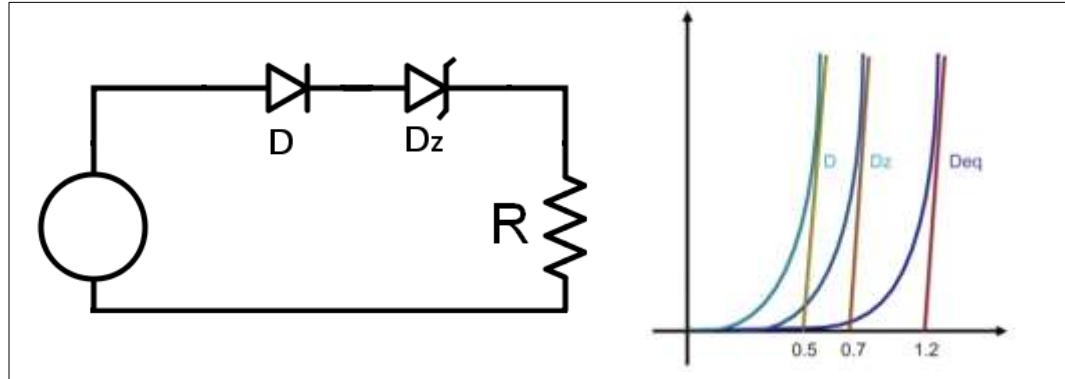


Figure 3.25

- On a utilisé diode zener come une diode normale par la polarisation directe pour élever la tension de seuil.
- la caractéristique du dipôle équivalent s'obtient graphiquement en considérant que la tension aux bornes de l'ensemble est la somme des tensions aux bornes des deux diodes. (Figure3.25) $V_{eq} = V_d + V_{dz}$ par ce que $V_{be} = 1.2V$ donc $V_s = 0.5 + 0.7$.

Les mesures (courant/tension):

Les valeurs mesurent d'amplificateur classe AB						
I_{CH}	V_{CH}	V_{CC}	I_{c1}	I_{c2}	I_e	R_{CH}
12.46 mA	2.54V	15 V	6.23mA	6.22mA	4.48mA	200Ω

Tableau 3.16 Les mesures d'amplificateur classe AB

Les calculs de puissances de PA Classe AB :

$$V_{CH} = R_{CH} \times I_{CH} = 200 \times 12.46 \times 10^{-3} = 2.48 \text{ V}$$

$$P_U = I_{CH} \times V_{CH} = 12.46 \times 10^{-3} \times 1.76 = 0.0218 \text{ W}$$

$$P_t = 2V_{ce} \times I_c = 0.0062 \times 1.76 \times 2 = 0.0219 \text{ mW}$$

$$P_f = 2 \times I_c \times V_{CC} = 0.0062 \times 12 = 148.4 \text{ mW}$$

$$\eta = \frac{P_U}{P_f} = \frac{0.02}{148.8 \times 10^{-3}} \times 100 = 13.51\%$$

Les puissances calculées d'amplificateur classe AB

P_e	P_U	P_F	P_T	η
15.18mW	21.87 mW	148.8mW	21.9mW	13.51%

Tableau 3.17 Les valeurs calculées pour amplificateur classe AB

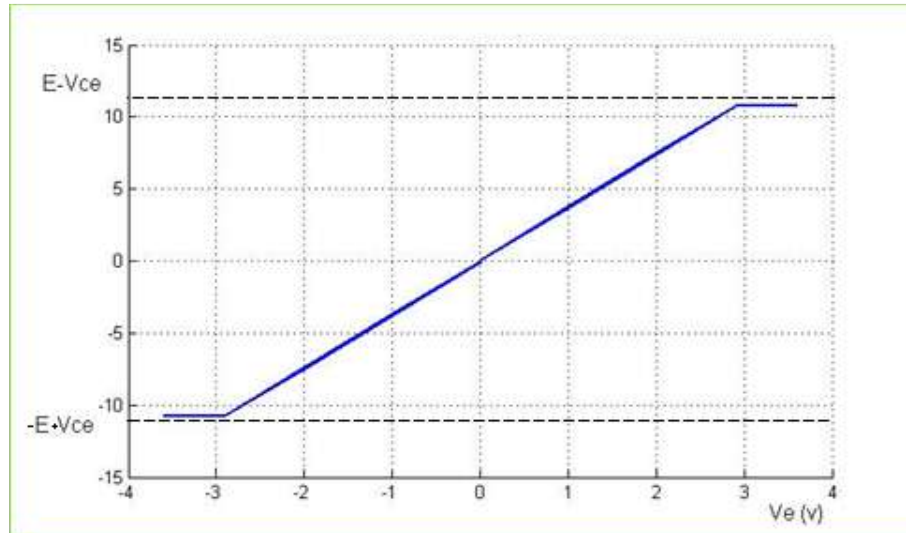


Figure 3.26 Caractéristique de transfert d'amplificateur classe AB tracé par Matlab

Les transistors Q_1 et Q_2 est conduit tout le période temps que V_e varie $[-2.9 : 2.9]$

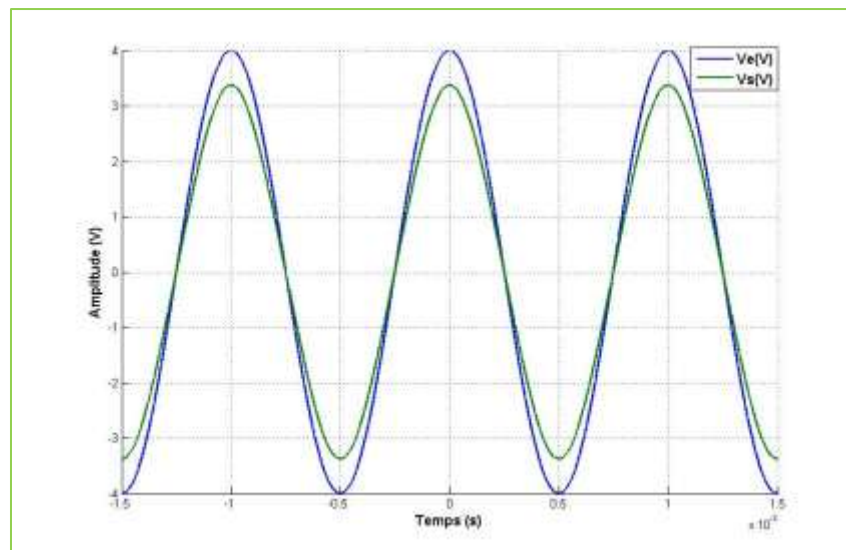


Figure 3.27 Signal d sortie d'amplificateur classe AB tracé par le Matlab

	V_e	V_s
L'amplitude	4 V	3.6 V
Le période	1 ms	1 ms

Tableau 3.18 Les caractéristiques des signaux de PA classe AB tracé par le Matlab

III.4-4 La simulation de PA classe AB par logiciel Proteus 8.0 Professional:

On simulé le circuit dans la figure (3.21) :

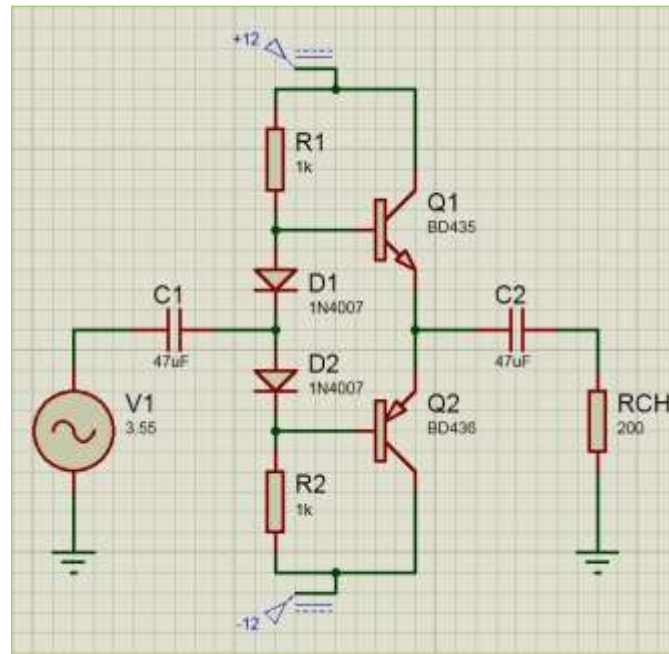


Figure 3.28 circuit d'amplificateur classe AB simule

Le PA classe B aux cours de simulation :

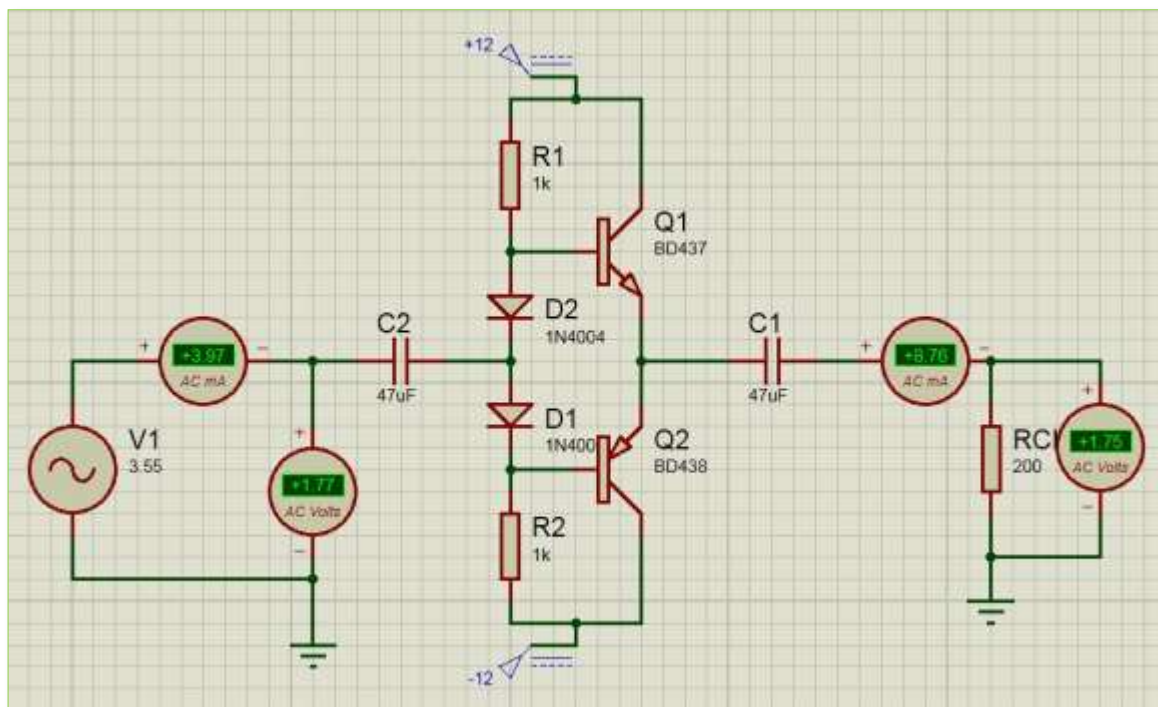


Figure 3.29 Les valeurs de simulation courant et de tension pour la classe d'amplificateur AB

Les valeurs mesurent d'amplificateur classe AB

I_{ch}	U_{ch}	I_e	V_e
8.76mA	1.75V	3.97mA	1.77 V

Tableau 3.19 Les valeurs de simulation pour amplificateur classe AB

On calcule les puissances et le rendement avec la relation précédant :

P_e	P_u	P_f	P_t	η
7.02mW	15.33mW	105.12 mW	15.5 mW	14.58 %

Tableau 3.20 Les calculés des valeurs de simulation pour amplificateur classe AB

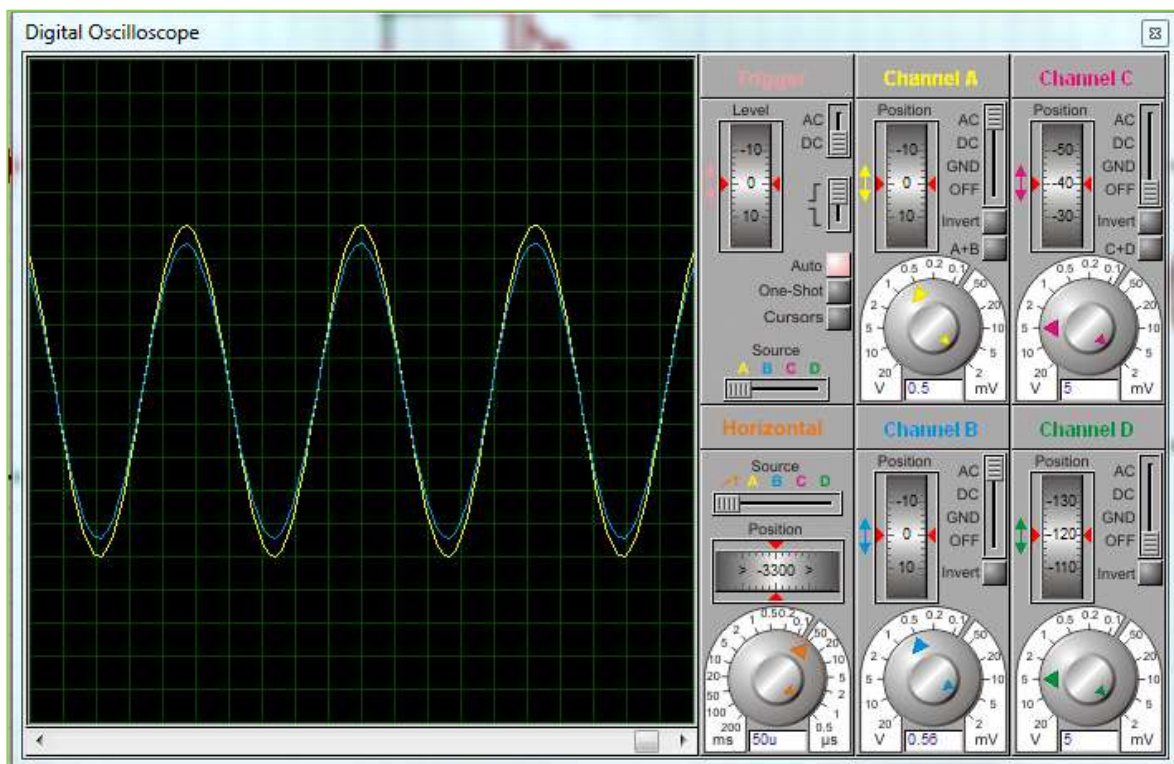
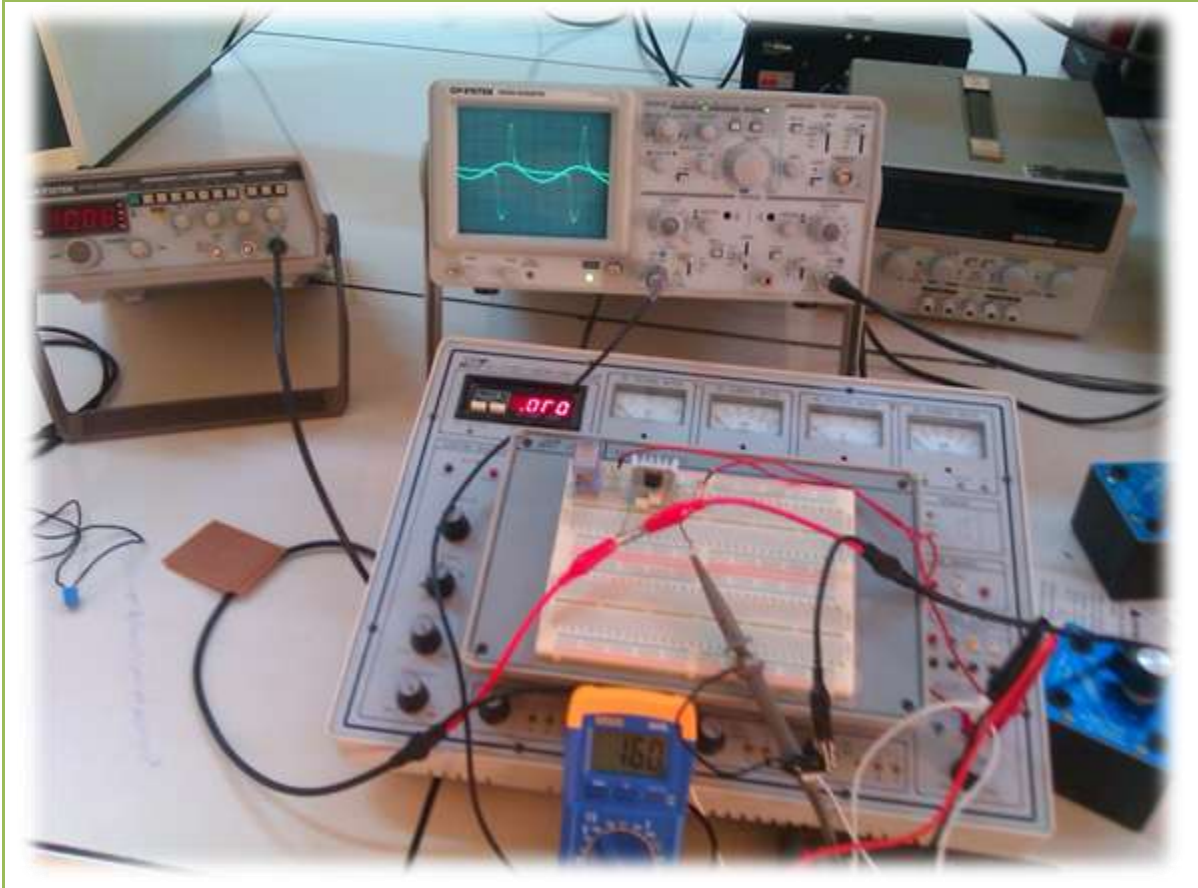


Figure 3.30 Signaux visualise d'amplificateur classe AB par simulation

III.5 Réalisation d'Amplificateur de puissance Classe C



III.4-2 Circuit utilisé :

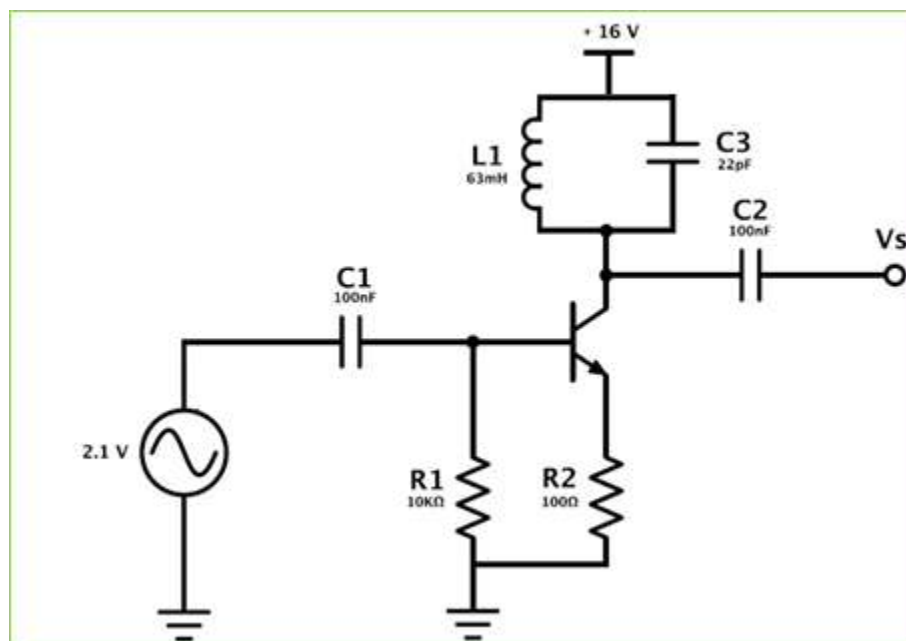


Figure 3.31 Schéma d'amplificateur classe C

III.5-1 Les composent et matériels utilises :

Composent	Matériels
- R1 = 10 k Ω	- Oscilloscope GOS-620FG
- R2 = 100 Ω	- GBF 8020H
- L1 = 63mH	- Multimètre HONTEK A830L
- C1 = 100nF	- Multimètre multimétrix
- C2 = 100nF	- Module KL 21001
- C3= 22pF	- Module BREABBORD AC-90001
- Q1=équivalent de BD434	

III.5-3 Partie pratique :

Nous avons injecté les composent dans la plaque d'essai pour monter le circuit précédent (figure 3.31) :

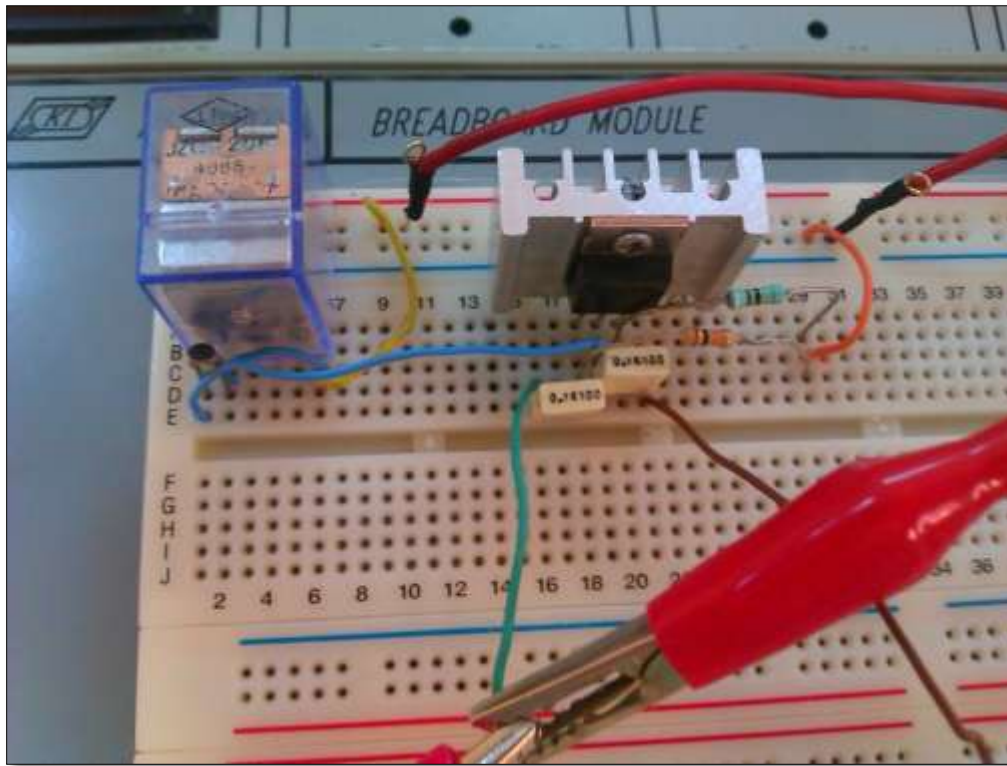


Figure 3.32 Schéma d'amplificateur classe C réalisé dans la plaque d'essai

On a alimentée le GBF et réglée la tension et la fréquence a ($U_{\max} = 3 \text{ v}$, $F=1\text{kHz}$) :



Figure 3.33 Les caractéristiques du signal d'entrée d'amplificateur classe C

Lorsque on alimentée Module KL-21001 et réglée la tension a 15 V ($V_{cc} = 15 \text{ V}$) on visualisée dans l'oscilloscope le signal suivants :

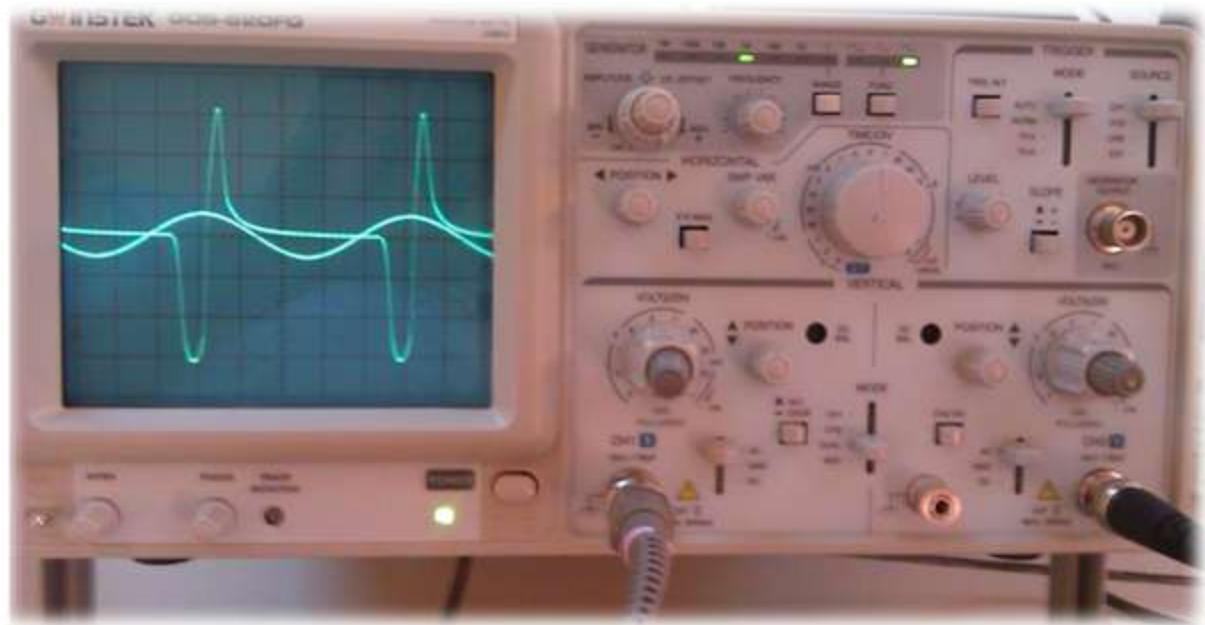


Figure 3.34 Signaux visualise d'amplificateur classe C par l'oscilloscope

	Signal de entre CHII	Signal de sortie CHI
L'amplitude _(max)	3 V	15V
Le période	0.2ms	0.2ms

Tableau 3.21 Les caractéristiques des signaux de PA classe C visualise par l'oscilloscope

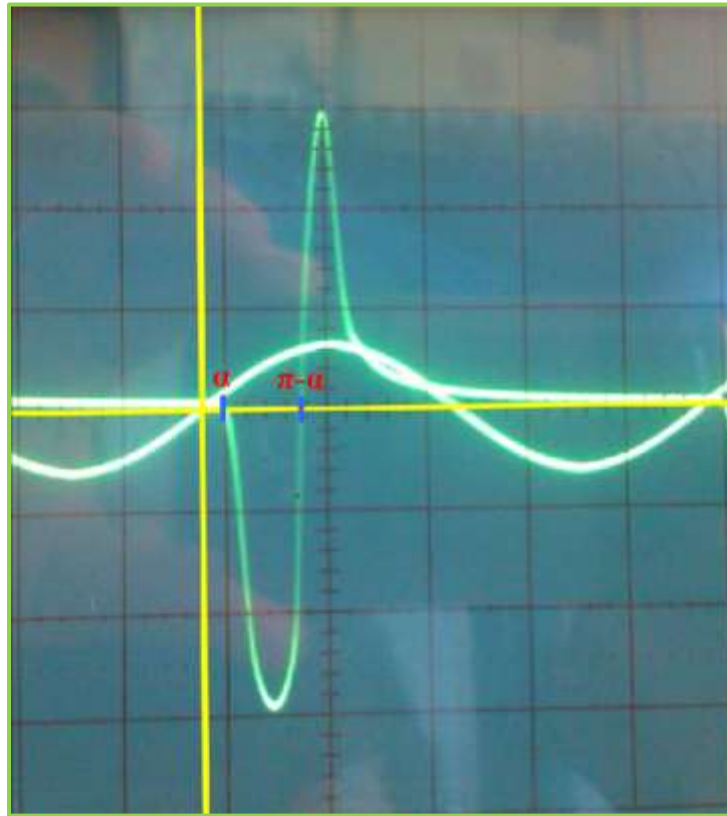


Figure 3.35 L'angle de conduction d'amplificateur classe C

- α = obtenu dans le graph
- $\theta = \pi - 2\alpha$
- $\delta = \frac{\pi}{2} - \alpha$

$$\alpha = \frac{t}{T} \times 360^\circ$$

$$t = 0.2 \times 10^{-3}$$

$$T = (0.2 \times 10^{-3}) \times 5 = 0.001$$

$$\alpha = \frac{0.2 \times 10^{-3}}{0.001} \times 360^\circ = 72^\circ$$

$$\theta = \pi - 2\alpha = 180 - 2 \times 72 = 36^\circ$$

$$\delta = \frac{\pi}{2} - \alpha = 90 - 72 = 18^\circ$$

α	θ	δ
72°	36°	18°

Tableau 3.22 Les angles de PA classe C

$$P_u = \frac{U_{CH} I_{C_{MAX}}}{4\pi} \frac{2\delta - \sin 2\sigma}{1 - \cos \sigma} = \frac{4.55 \times 8.22 \times 10^{-3}}{4\pi} \frac{36 - \sin 36}{1 - \cos \sigma} = 2.2w$$

$$P_f = \frac{EI_{C_{MAX}}}{\pi} \frac{\sin \delta - \delta \cos \delta}{1 - \cos \delta} = \frac{16 \times 8.22 \times 10^{-3}}{\pi} \frac{\sin 18 - 18 \cos 18}{1 - \cos 18} = 13.73w$$

$$\eta = \frac{P_u}{P_f} = \frac{2.12}{13.73} = 0.1544 = 15.44\%$$

P_u	P_f	η
2.12 W	13.73W	15.43%

Tableau 3.23 Les valeurs calculées pour amplificateur classe C

III.5-4 La simulation de PA classe C par logiciel Proteus 8.0 Professional:

On simule le circuit dans la figure (3.31) :

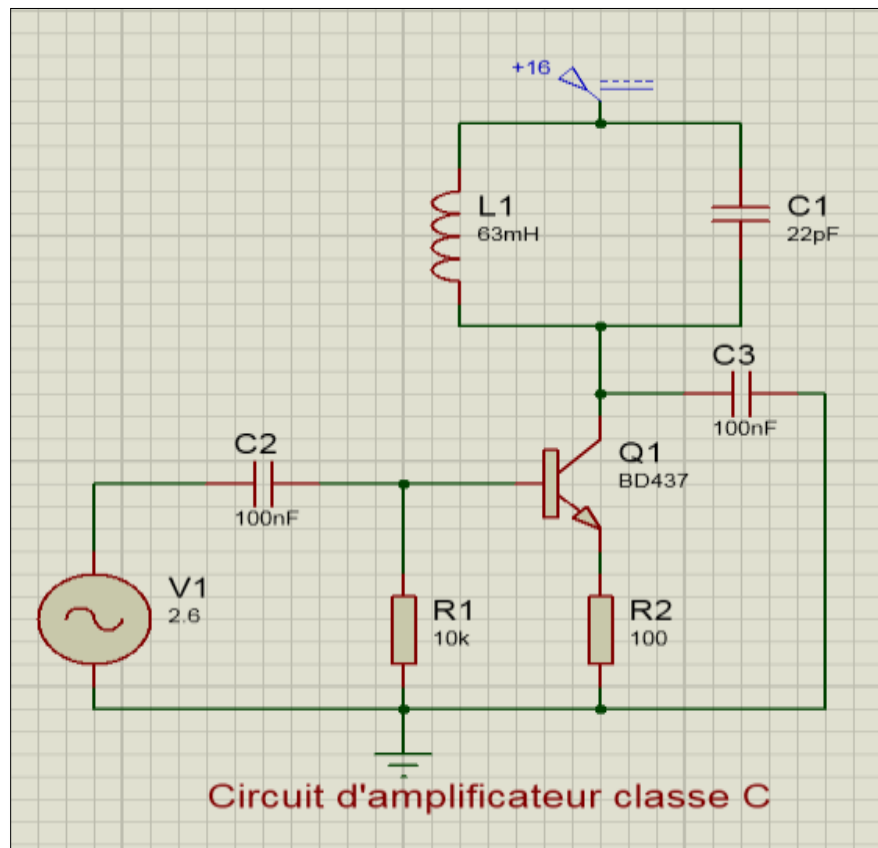


Figure 3.36 Circuit d'amplificateur classe C simule

Le PA classe C aux cours de simulation :

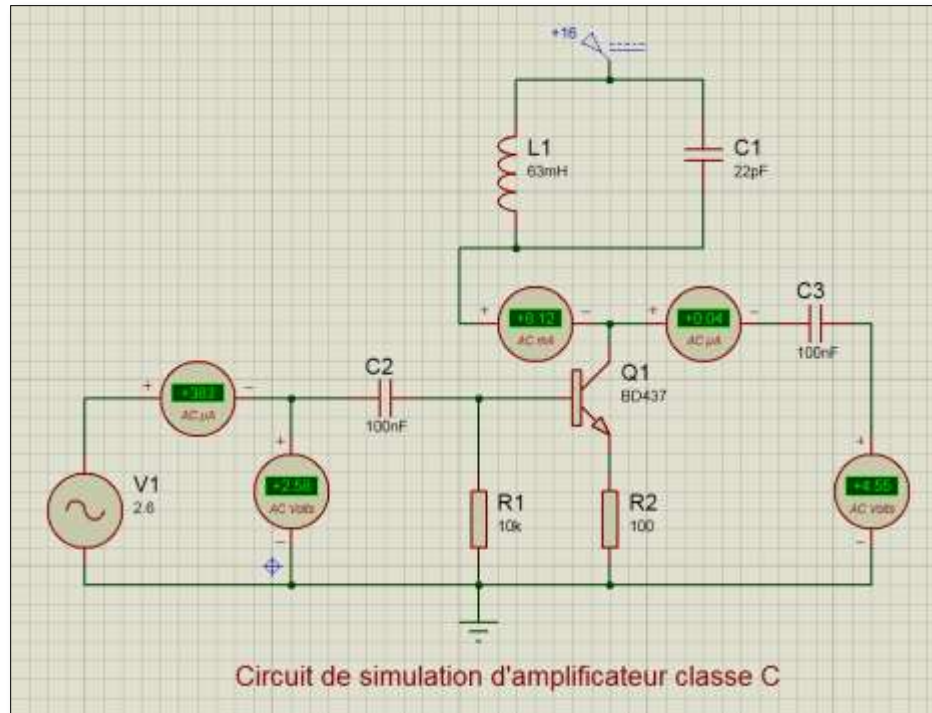


Figure 3.37 Les valeurs de simulation courant et de tension pour la classe d'amplificateur

I_{ch}	U_{ch}	I_e	I_c	V_e
0.04uA	4.55V	383uA	8.12 mA	2.58 V

Tableau 3.24 Les valeurs de simulation d'amplificateur classe C

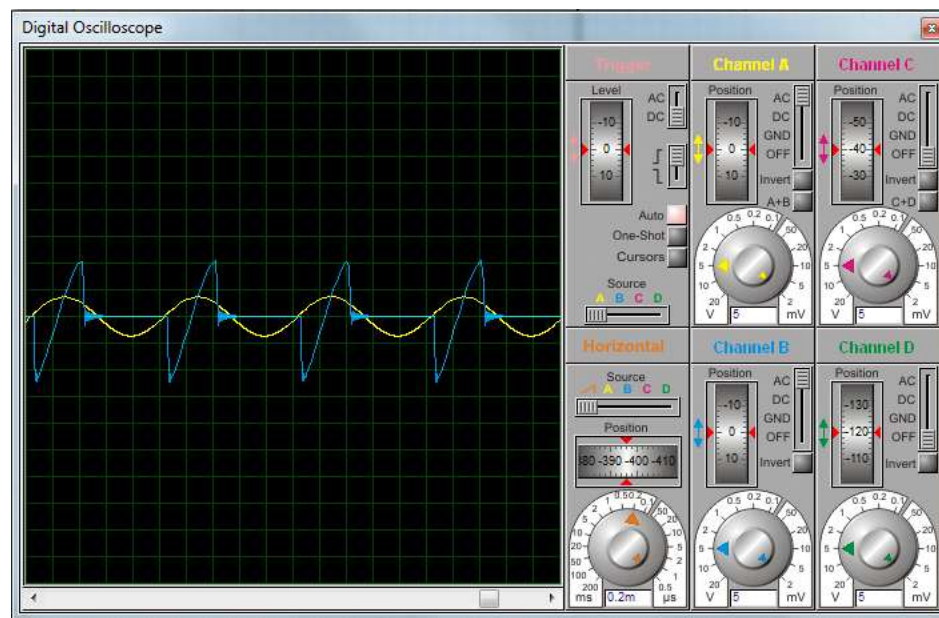
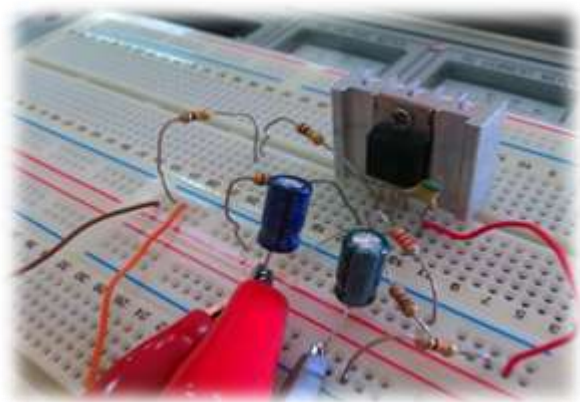
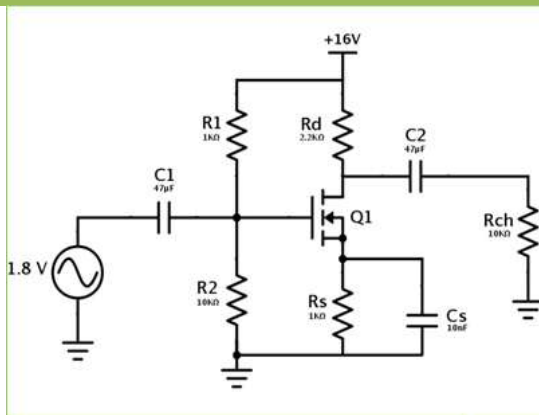


Figure 3.38 Signaux visualise d'amplificateur classe C par simulation

III.6 Fabrication d'un amplificateur de puissance classe A :

Dans ce section nous avons fabriquons un amplificateur de puissances classe A et ont utilisé le circuit dans la (figure 3.1), pour réalise le PA on utilise les composent et les matériels suivante :

Composent	Matériels
- $R1 = 20\text{ k}\Omega$ - $R2 = 10\text{ k}\Omega$ - $Rd = 2.2\text{ k}\Omega$ - $Rs = 1\text{ k}\Omega$ - $C1 = 47\text{ }\mu\text{F}$ - $C2 = 47\text{ }\mu\text{F}$ - $Cs = 10\text{ }\mu\text{F}$ - $Q1 = \text{IRFZ44N}$	- Le fer à souder - Pince - Support Autre Outils : - Veroboard - Fil



Après, nous montons les composent dans la plaque du raccordement ont obtenu le PA suivant :

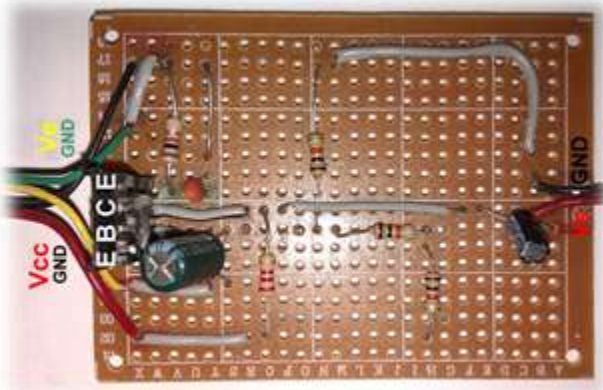


Figure 3.39 Circuit de PA classe A fabriqué

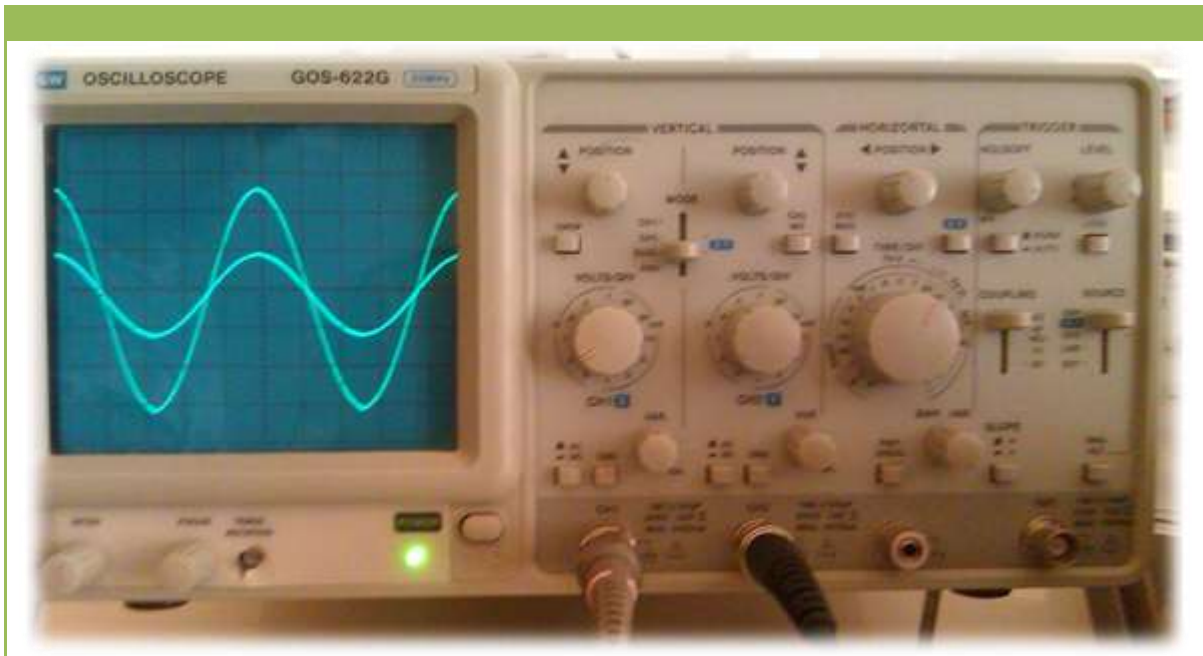


Figure 3.40 Signaux visualise d'amplificateur classe A (Fabriqué) par l'oscilloscope

	Signal de entre CHII	Signal de sortie CHI
L'amplitude _(max)	1.8 V	5V
Le période	0.2ms	0.2ms

Tableau 3.25 Les caractéristiques des signaux de PA classe A(Fabriqué) visualise par l'oscilloscope

V_e	V_s	I_e	I_s
1.8 V	5 V	0.58 mA	0.5 mA
I_c	Z_e	Z_s	V_{cc}
1.81mA	9.8K	31.5K	18
A_v	A_i	A_p	P_e
1.96	0.61	1.19	1.04mW
P_u	P_f	P_t	η
3.25mW	32.55mW	3.24mW	9.98%

Tableau 3.26 Les valeurs calculées pour amplificateur classe A (fabriqué)

III. 7 Conclusion :

Les caractéristiques d'amplificateur déterminer votre utilisation, le rendement de chaque classes, dans ce réalisation nous avons démontré que le rendement calculé par les valeurs mesurant et peu identique par rapport le rendement calculés par la valeur obtenu par la simulation et parti théorique par ce que il y a des obstacles dans la réalisation ne permettent pas le rendement pour augmenter à la valeur maximal.

A la fin de ce réalisation est d'améliorer le rendement pour chaque classe et illuminé la distorsion par :

- Minimisée les point de la soudure pour diminuée l'effet de joule
- Choisir le band fréquence approprié de PA pour améliorer l'amplification
- On concentré à l'exactitude a les valeurs des composent utilisent

Conclusion générale :

La transmission de signaux nécessite une amplification de ces derniers avant de les transmettre, ce qui annonce l'importance de l'amplification des signaux électriques.

Dans ce mémoire, notre but a été de réaliser différents amplificateurs de puissances à base de transistor bipolaire et Mosfet. Le transistor fonctionne comme amplificateur électronique avec un branchement émetteur commun qui fournit un gain important en courant et en tension. Une autre chose très importante pour que le transistor fonctionne adéquatement, c'est la polarisation. On dispose de plusieurs types, polarisation par la base avec rétroaction au collecteur par l'émetteur, par diviseur de tension, c'est cette dernière qui est la plus utilisée à cause de la stabilité de circuit (point de repos).

La puissance du signal de sortie détermine le type d'amplificateur, deux catégories peuvent se représenter, la première catégorie est celle des amplificateurs de faibles signaux et l'autre pour les amplificateurs de puissances.

Donc pour réaliser un amplificateur il faut choisir selon l'utilisation envisagée, le type de branchement de transistor et son circuit de polarisation et la raison d'utilisation de l'amplificateur, selon la raison on détermine la catégorie de l'amplificateur.

Annexes :

- Annexe A :** Electric Caractéristiques de transistor IRFZ44N $T_J = 25^\circ\text{C}$
Annexe B : Electric Caractéristiques de transistor BD 135 $T_A = 25^\circ\text{C}$
Annexe C : Electric Caractéristiques de transistor BD435 $T_A = 25^\circ\text{C}$
Annexe D : Fonction utilisé pour trouver les chaines de caractéristique de PA classe A

Annexe A : Electric Caractéristiques de transistor IRFZ44N $T_J = 25^\circ\text{C}$

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
$V_{(BR)DSS}$	Drain-to-Source Breakdown Voltage	55	—	—	V	$V_{GS} = 0V, I_D = 250\mu A$
$\Delta V_{(BR)DSS}/\Delta T_J$	Breakdown Voltage Temp. Coefficient	—	0.058	—	V/ $^\circ\text{C}$	Reference to 25°C , $I_D = 1\text{mA}$
$R_{DS(on)}$	Static Drain-to-Source On-Resistance	—	—	17.5	m Ω	$V_{GS} = 10V, I_D = 25A$ ④
$V_{GS(th)}$	Gate Threshold Voltage	2.0	—	4.0	V	$V_{DS} = V_{GS}, I_D = 250\mu A$
g_{fs}	Forward Transconductance	19	—	—	S	$V_{DS} = 25V, I_D = 25A$ ④
I_{DSS}	Drain-to-Source Leakage Current	—	—	25	μA	$V_{DS} = 55V, V_{GS} = 0V$
		—	—	250		$V_{DS} = 44V, V_{GS} = 0V, T_J = 150^\circ\text{C}$
I_{GSS}	Gate-to-Source Forward Leakage	—	—	100	nA	$V_{GS} = 20V$
	Gate-to-Source Reverse Leakage	—	—	-100		$V_{GS} = -20V$
Q_g	Total Gate Charge	—	—	63	nC	$I_D = 25A$
Q_{gs}	Gate-to-Source Charge	—	—	14		$V_{DS} = 44V$
Q_{gd}	Gate-to-Drain ("Miller") Charge	—	—	23		$V_{GS} = 10V$, See Fig. 6 and 13
$t_{d(on)}$	Turn-On Delay Time	—	12	—	ns	$V_{DD} = 28V$
t_r	Rise Time	—	60	—		$I_D = 25A$
$t_{d(off)}$	Turn-Off Delay Time	—	44	—		$R_G = 12\Omega$
t_f	Fall Time	—	45	—		$V_{GS} = 10V$, See Fig. 10 ④
L_D	Internal Drain Inductance	—	4.5	—	nH	Between lead, 6mm (0.25in.) from package and center of die contact
L_S	Internal Source Inductance	—	7.5	—		
C_{iss}	Input Capacitance	—	1470	—	pF	$V_{GS} = 0V$
C_{oss}	Output Capacitance	—	360	—		$V_{DS} = 25V$
C_{rss}	Reverse Transfer Capacitance	—	88	—		$f = 1.0\text{MHz}$, See Fig. 5
E_{AS}	Single Pulse Avalanche Energy②	—	530③	150⑥	mJ	$I_{AS} = 25A, L = 0.47\text{mH}$

Annexe B : Electric Caractéristiques de transistor BD 135 $T_A = 25^\circ\text{C}$

Symbol	Parameter	Test Condition	Min.	Typ.	Max.	Units
$V_{CEO(sus)}$	Collector-Emitter Sustaining Voltage	BD135	45			V
		BD137	60			
		BD139	80			
I_{CBO}	Collector Cut-off Current	$V_{CB} = 30V, I_E = 0$			0.1	μA
I_{EBO}	Emitter Cut-off Current	$V_{EB} = 5V, I_C = 0$			10	μA
h_{FE1}	DC Current Gain	$V_{CE} = 2V, I_C = 5\text{mA}$	25			
h_{FE2}		$V_{CE} = 2V, I_C = 0.5A$	25			
h_{FE3}		$V_{CE} = 2V, I_C = 150\text{mA}$	40		250	
$V_{CE(sat)}$	Collector-Emitter Saturation Voltage	$I_C = 500\text{mA}, I_B = 50\text{mA}$			0.5	V
$V_{BE(on)}$	Base-Emitter On Voltage	$V_{CE} = 2V, I_C = 0.5A$			1	V

Annexe C : Electric Caractéristiques de transistor BD435 TA= 25°C

Symbol	Parameter	Test Condition	Min.	Typ.	Max.	Units
$V_{CEO(sus)}$	Collector-Emitter Sustaining Voltage : BD433 : BD435 : BD437	$I_C = 100mA, I_B = 0$	22 32 45			V V V
I_{CBO}	Collector Cut-off Current : BD433 : BD435 : BD437	$V_{CB} = 22V, I_E = 0$ $V_{CB} = 32V, I_E = 0$ $V_{CB} = 45V, I_E = 0$			100 100 100	μA μA μA
I_{CEO}	Collector Cut-off Current : BD433 : BD435 : BD437	$V_{CE} = 22V, V_{BE} = 0$ $V_{CE} = 32V, V_{BE} = 0$ $V_{CE} = 45V, V_{BE} = 0$			100 100 100	μA μA μA
I_{EBO}	Emitter Cut-off Current	$V_{EB} = 5V, I_C = 0$			1	mA
h_{FE}	* DC Current Gain : BD433/435 : BD437 : ALL DEVICE : BD433/435 : BD437	$V_{CE} = 5V, I_C = 10mA$ $V_{CE} = 1V, I_C = 500mA$ $V_{CE} = 1V, I_C = 2A$	40 30 85 50 40	130 130 140		
$V_{CE(sat)}$	* Collector-Emitter Saturation Voltage : BD433 : BD435 : BD437	$I_C = 2A, I_B = 0.2A$		0.2 0.2 0.2	0.5 0.5 0.6	V V V
$V_{BE(on)}$	* Base-Emitter ON Voltage : BD433 : BD435 : BD437	$V_{CE} = 1V, I_C = 2A$			1.1 1.1 1.2	V V V
f_T	Current Gain Bandwidth Product	$V_{CE} = 1V, I_C = 250mA$	3			MHz

Annexe D: Fonction utilisé pour trouver les réseaux de caractéristiques de PA classe A

```
function [ info ]=MoSClasA(Vcc,R1,R2,Rd,Rs,Rch,Cs,Vgth,k,Va)
% fonction qui calculer les réseaux de caractéristiques
d'Amplificateur Class A 'MOSFET'
% Va et Vgth trouver par le data sheet de transistor
Vgs=(R2/(R1+R2))*Vcc;
Rgs=Req(R1,R2);
Ig=.39/Rgs;           % Courant de gate
Id=k*(Vgs-Vgth)^2;    % k c'est un constante physique
Vds=Vcc-Id*(Rd+Rs);   % La tension entre Draine-Source
rds=Vds/Id;           % Résistance de Draine-Source
['-----MODE-STATIQUE-----']
['Vgs','Rgs','Ig','Id','Vds','rds']
infs=[Vgs,Rgs,Ig,Id,Vds,rds];
x=[0:2,2.33]*1e-3;    %
y=Vds*ones(1,4);      %
t=[0:8,8.54];         %
z=Id*ones(1,10);      %
Vdsc=[0:15,15.9];     %
Idc=((Vcc-Vdsc)/(Rs+Rd)); % Pour la tracé de droit de charge
['-----MODE-DYNAMIQUE-----']
gm=2*k*(Vgs-Vgth);
Ro=Va/Id;
f1=(1)/(Rs*Cs*2*pi)
Rdch=Req3(Rd,Rch,rds);
Av=-.5*gm*Rdch;
Ze=Req(R1,R2);        % L'impédance d'entrée
Zs=Req(Rd,rds);       % L'impédance de sortie
Ai=-2*Av*(rds/Rch);
['Ze','Zs','Av','Ai'];
info=[Ze,Zs,Av,Ai];
hold on
format shortg
xlabel('Vds');
ylabel('Id');
title('Le droit de charge');
plot(y,x);
plot(t,z);
plot(Vdsc,Idc);
grid;
end
```

Référence :

- [1] Guyaume B. Parenteau, *“La Télécommunication : Vers la convergence”*.04 janvier 2009.
- [2] François de Dieuleveult • Olivier Romain, *“ Électronique appliquée aux hautes fréquences Principes et applications”*.Dunod, Paris, 2^e édition 2008
- [3] Nathalie DELTIMPLE., *“Etude et réalisation d'un amplificateur de puissance reconfigurable en technologie BiCMOS SiGe pour des applications multi-standards GSM/DCS/UMTS”*, Thèse de doctorat, Université de Bordeaux I, 9 décembre 2005.
- [4] A.L. Fawe, L.Deneire, *“Principe de Télécommunications ”*. 1996
- [5] د.عبد القادر عكي ,د.موسى محمد موسى , “ نظم هندسة الاتصالات -الجزء الاول-اسس ومبادئ.” شركة ELGA ,الطبعة أولى 1996.
- [6] KHIMA SOUFIANE, *“Amplificateur RF CMOS, Puissance classe C”*, thèse mastère, Université Abderrahmane Mira de Bejaia 2009.
- [7] Pierre-Gérard Fontolliet, *“Systèmes De Télécommunications”*. Pressés polytechniques et universitaires romandes 1999.
- [8] Douglas Self, *"Audio Power Amplifier Design"*, Focal Press, Sixth Edition 2013.
- [9] Tony Moscal, *"Sound Check: The Basics of Sound and Sound Systems"*. Hal Leonard, 1994.
- [10] Kent H. Lundberg, *“Noise Sources in Bulk CMOS”*.2002

- [11] R. Sarpeshkar, T. Delbruck, and C. A. Mead, “*White noise in MOS transistors and resistors* “, IEEE Circuits Devices Magazine, p. 23–29, November 1993.
- [12] Texas Instruments application report slva043b, “*Noise Analysis in Operational Amplifier Circuits*“2007.
- [13] Bouzourane Hocine, “*Principe D’électronique* “, Edition Houma 2010.
- [14] C.J.M. Verhoeven, A. van Staveren, G.L.E. Monna, M.H.L. Kouwenhoven and E. Yildiz, “*Structured Electronic Design Negative-feedback amplifiers*”. KLUWER ACADEMIC PUBLISHERS 2003.
- [15] Tahar Neffati, “*Électronique de A à Z*“.Dunod, Paris, 2006.
- [16] Mathieu HAZOUARD., “ *Conception et réalisation d'amplificateurs micro-ondes de puissance à l'aide de la méthode des fréquences réelles*“, Thèse de doctorat, Université de Bordeaux I, 7 Janvier 2002.
- [17] Nejdat DEMIREL., “ *Co-design d’un bloc PA-Antenne en technologie silicium pour application radar 80GHz*“, Thèse de doctorat, Université de Bordeaux I, 10 décembre 2010.
- [18] Marc Correvo, “ *Systèmes électroniques*“ :
 - Dr. N. Jöhl et Prof. M. Declercq, “ *Cours De Systèmes Électroniques Amplificateurs De Puissance* “
 - J.D. Chatelain et R.Dessoulavy, “*Traite D’Electricité Volume VIII : Électroniques* “ ISBN : 2-604-00010-5
 - M. Declercq, “ *Circuit Et Systèmes Électroniques, Electronique III Partie* “
- [19] A.P.Godse, U.A.Bakshi, “*Electronic Circuits and Applications*”. ‘Technical Publications Pune ; Fourth edition 2009.

- [20] B. Pontalier., “ *Amplification de puissance*“, Académie de Martinique Préparation Agrégation Sciences Physiques

- [21] MAIOUA Tahar, LATRECHCE Touati. “*Etude de l’amplificateur a transistor bipolaire*“. *Licence Académique, Université D’EL-OUED* 2010.

- [22] Michael Tooley, “*Electronic Circuits: Fundamentals and Applications* “, Linacre House, Hill, Oxford OX2 8DP, UK, First published 2006.

- [23] El Hadji MANSOUR FALL., “ *Conception d’un amplificateur RF agile en CMOS pour les futures générations de la téléphonie mobile*“ Thèse de doctorat, Université du Québec à Trois-Rivières, mars 2012.