

Rapport de Projet

SEMESTER – I

Modulation-Démodulation AM



ENCADRÉ PAR: Pr. ALAMI Mustapha

RÉALISÉ PAR: ABRYA Imane

AIT MOUHI Mohammed

AIT TALEB Fadma

EL IDRISI Imad

EL KIHEL Oussama

**INSTITUT NATIONAL DES POSTES
ET TELECOMMUNICATIONS**

JANVIER - 2023

SYSTÈMES EMBRAQUÉS ET SERVICES NUMÉRIQUES



ABSTRACT

Ce rapport décrit un projet visant à implémenter de manière analogique la modulation et la démodulation AM (modulation d'amplitude). Pour cela, des générateurs de signaux analogiques ont été utilisés pour générer des signaux modulant et porteur, et un modulateur et un démodulateur AM analogiques ont été utilisés pour moduler et démoduler les signaux. Les résultats obtenus montrent que ces techniques analogiques sont efficaces pour la modulation et la démodulation d'amplitude, mais il existe également des technologies numériques qui peuvent être utilisées pour ces opérations.

INTRODUCTION

La modulation et la démodulation sont des techniques utilisées pour transmettre des informations à travers un canal de communication. La modulation AM (modulation d'amplitude) est l'une des techniques les plus couramment utilisées pour la transmission de signal analogique. Elle consiste à faire varier l'amplitude d'un signal porteur (onde sinusoïdale) en fonction de l'amplitude d'un signal modulant (information à transmettre). La démodulation AM est alors utilisée pour récupérer l'information modulante à partir du signal modulé reçu.

SOMMAIRE

1 Travaux Pratiques	1
1.1 TP 1 : Oscillateur	1
1.1.1 Schéma principale de l'oscillateur	1
1.1.2 Oscillateur idéal	2
1.1.3 Schéma alimentation	3
1.1.4 Oscillateur Réel	3
1.1.5 Simulations	4
1.2 TP 2 : Filtrage	6
1.2.1 Introduction	6
1.2.2 Etude théorique	6
1.2.3 Partie pratique	7
1.2.4 Interprétations	8
1.2.5 Problème de l'écrêtage	9
1.3 TP 3 : Amplificateur opérationnel	10
1.3.1 Saisie de schéma	10
1.3.2 Vérification du fonctionnement	10
1.3.3 Réponse en boucle ouverte	11
1.3.4 Réponse en fréquence pour le gain unité	14
2 PROJET 1 : Modulation-Démodulation AM	16
2.1 Présentation de projet	17
2.2 Bloc 1 : Alimentation symétrique 15V, -15V.	18
2.2.1 Partie théorique:	18
2.2.2 Partie pratique:	19
2.3 Bloc 2 : Oscillateur Basse Fréquence.	21
2.3.1 Partie théorique:	21
2.3.2 Partie pratique:	22

2.4	Bloc 3 : Oscillateur haute fréquence	23
2.4.1	Partie théorique:	23
2.4.2	Partie pratique :	24
2.5	Bloc 4 : Modulation	26
2.5.1	Partie théorique :	26
2.5.2	Partie pratique :	27
2.6	Bloc 5 : Démodulation	28
2.6.1	Méthode 1:	28
2.6.2	Méthode 2:	32
2.7	Circuit Global	33
2.8	Résultats:	35
3	Conclusion	36

FIGURES

1.1	Schéma principale de l'oscillateur	1
1.2	Montage Oscillateur En Alimentation Idéal	2
1.3	Montage Alimentation	3
1.4	Montage Oscillateur Réel	4
1.5	Simulation Oscillateur Idéal	5
1.6	Simulation Oscillateur Réel	5
1.7	Montage de Filtre	6
1.8	Schéma du Filtre Passe-Bande	7
1.9	Module de Gain	8
1.10	Gain en dB	8
1.11	Tension de sortie	9
1.12	Schéma d'Amplification	10
1.13	Simulation d'Amplification	11
1.14	Sous-circuit de l'Amplificateur	11
1.15	Bloc d'Amplificateur En Boucle Ouverte	12
1.16	Montage en Fréquence BO pour I=100uA et C=5pF	12
1.17	Réponse en Fréquence BO pour I=100uA et C=5pF	13
1.18	Réponse en Fréquence BO pour I=200uA et C=10pF	13
1.19	Réponse en Fréquence BO pour I=500uA et C=100pF	13
1.20	Montage en Fréquence BF pour I=200uA et C=10pF	14
1.21	Réponse en Fréquence BF pour I=200uA et C=10pF	14
1.22	Réponse en Fréquence BF pour I=500uA et C=50pF	14
1.23	Réponse en Fréquence BF pour I=500uA et C=100pF	15
2.1	Les Différents Blocs du Projet.	17
2.2	Bloc d'Alimentation	18
2.3	Redressement double alternance	18

2.4	Filtrage de redressement double alternance	19
2.5	Le circuit d'un régulateur LM7815	19
2.6	Simulation: Tension d'alimentation	20
2.7	Simulation: Tensions V(A), V(B)	20
2.8	Simulation: Tensions V(P+), V(P-)	20
2.9	Simulation: Tensions V(OUT1), V(OUT2)	21
2.10	Le circuit électrique de l'oscillateur de Wien	21
2.11	Le montage de L'oscillateur BF	22
2.12	Simulation de L'oscillateur BF	23
2.13	circuit de Colpitts	23
2.14	montage du circuit d'oscillateur HF	24
2.15	Simulation du circuit d'oscillateur HF	24
2.16	Montage du collecteur commun	25
2.17	Simulation du circuit d'oscillateur HF avec collecteur commun	25
2.18	Phénomène de surmodulation	26
2.19	Montage du Modulateur	27
2.20	Sortie de Modulateur	27
2.21	Principe de la démodulation	28
2.22	Filtre de Rauch	28
2.23	Schéma du filtre Passe Bas	30
2.24	Analyse temporelle de filtre passe bas	30
2.25	Analyse fréquentielle de filtre passe bas	30
2.26	Schéma de principe de la détection synchrone	31
2.27	Schéma du démodulateur AM 1	31
2.28	Simulation du démodulateur AM 1	32
2.29	Circuit de détecteur d'enveloppe	32
2.30	Schéma du démodulateur AM 2	33
2.31	Simulation du démodulateur AM 2	33
2.32	Schéma de Circuit Global	34
2.33	Simulation de Circuit Global V_{OUT1}	34
2.34	Simulation de Circuit Global V_{OUT2}	34

CHAPITRE 1

Travaux Pratiques

1.1 TP 1 : Oscillateur

Ce projet de travaux pratiques consiste principalement à étudier les caractéristiques d'un oscillateur dans différents cas. Dans le premier cas, l'objectif était de tester un oscillateur idéal en utilisant une source d'alimentation idéale ($\pm 15V$).

Dans le deuxième cas, l'objectif était d'utiliser une source d'alimentation réelle pour étudier l'oscillateur dans des conditions réelles. Les résultats de ces deux études ont permis de comparer les caractéristiques de l'oscillateur dans les deux cas (idéal et réel) et de comprendre les effets de l'utilisation d'une source d'alimentation réelle sur les performances de l'oscillateur.

1.1.1 Schéma principale de l'oscillateur

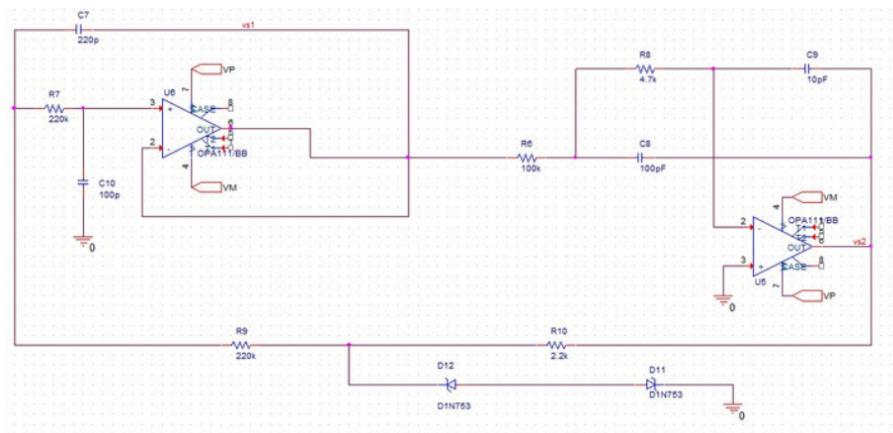


Figure 1.1: Schéma principale de l'oscillateur

Ce circuit oscillateur utilise des résistances, un amplificateur opérationnel OPA111, des condensateurs, des diodes D1N753 et une source d'alimentation de +15V et -15V. Le

circuit est conçu pour générer un signal oscillant en utilisant l'OPA111 comme amplificateur de boucle de rétroaction. Les résistances et les condensateurs sont utilisés pour créer une impédance appropriée pour la boucle de rétroaction, tandis que les diodes sont utilisées pour limiter la tension dans le circuit. La source d'alimentation de +15V et -15V fournit la tension nécessaire pour alimenter les composants du circuit. En gros, ce circuit utilise un amplificateur opérationnel pour amplifier une tension de boucle de rétroaction qui est créée par les résistances et les condensateurs, les diodes sont utilisées pour éviter les dépassemens de tension et la source d'alimentation fournit la tension nécessaire pour faire fonctionner les composants.

1.1.2 Oscillateur idéal

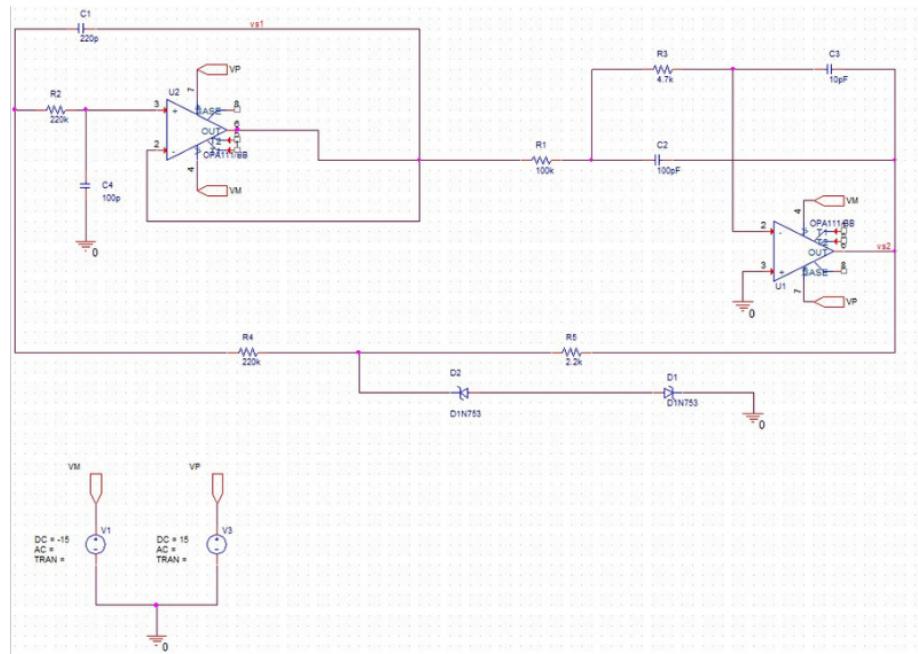


Figure 1.2: Montage Oscillateur En Alimentation Idéal

La fréquence d'oscillation du circuit est égale :

$$f_{vs1} = 4.944 KHz \quad (1.1)$$

$$f_{vs2} = 5.067 KHz \quad (1.2)$$

Le temps du régime transitoire :

$$Tt_{vs1} = 0.9ms \quad (1.3)$$

$$Tt_{vs2} = 0.72ms \quad (1.4)$$

1.1.3 Schéma alimentation

Le circuit convertit une tension de 220 volts en une tension de ± 15 volts en utilisant des ponts de diodes D1N4004 et des régulateurs de tension LM7815C et LM7915C. Le pont de diodes D1N4004 est utilisé pour rectifier la tension d'entrée de 220 volts, tandis que les régulateurs de tension LM7815C et LM7915C stabilisent la tension rectifiée à 15 volts.

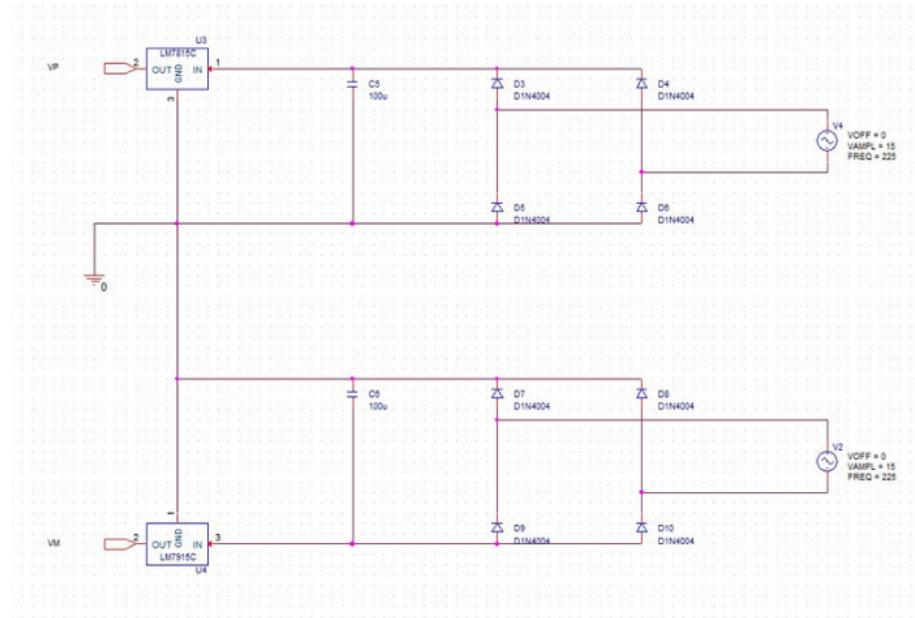


Figure 1.3: Montage Alimentation

1.1.4 Oscillateur Réel

Dans le cas d'un oscillateur réel on essaye de créer un sous-bloc lié au montage alimentation pour pouvoir alimenter le montage d'oscillateur simple pour avoir un oscillateur réel comme on le voit dans le schéma suivant:

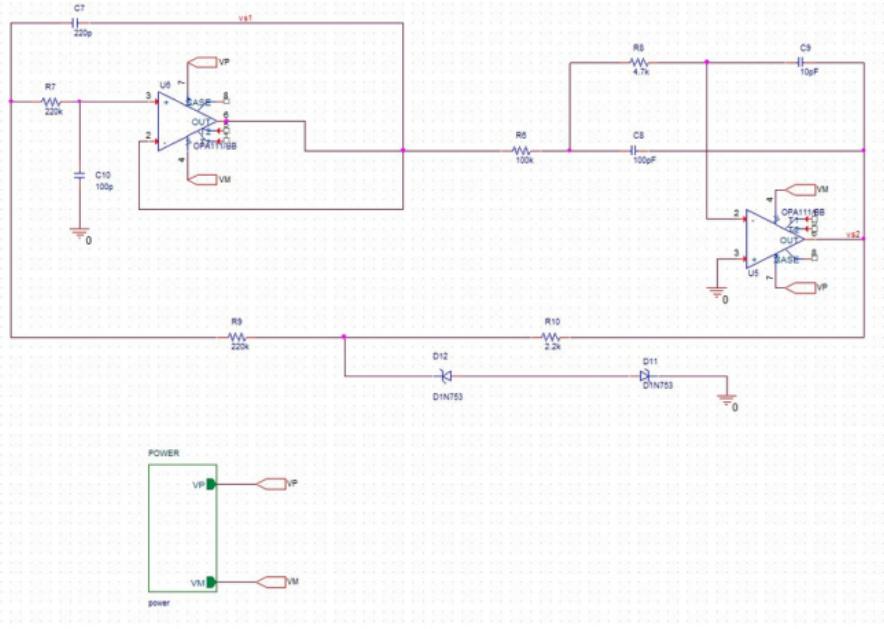


Figure 1.4: Montage Oscillateur Réel

La fréquence d'oscillation du circuit est égale :

$$f_{vs1} = 4.919 KHz \quad (1.5)$$

$$f_{vs2} = 5.087 KHz \quad (1.6)$$

Le temps du régime transitoire :

$$Tt_{vs1} = 0.993ms \quad (1.7)$$

$$Tt_{vs2} = 0.722ms \quad (1.8)$$

1.1.5 Simulations

Il n'y a pas une différence significative dans les résultats des simulations entre une source d'énergie réelle et une source d'énergie idéale. Bien que les sources d'énergie réelles puissent présenter des imperfections et des irrégularités, les simulations peuvent généralement compenser ces différences et produire des résultats similaires à ceux obtenus avec une source d'énergie idéale. Cependant, il est important de noter que cela peut varier en fonction de la complexité et de la précision des simulations utilisées, ainsi que des paramètres spécifiques de la source d'énergie réelle utilisée.

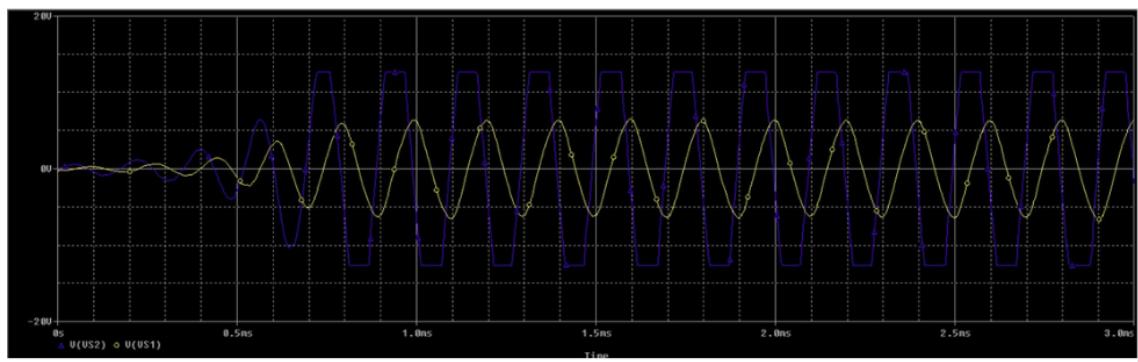


Figure 1.5: Simulation Oscillateur Idéal

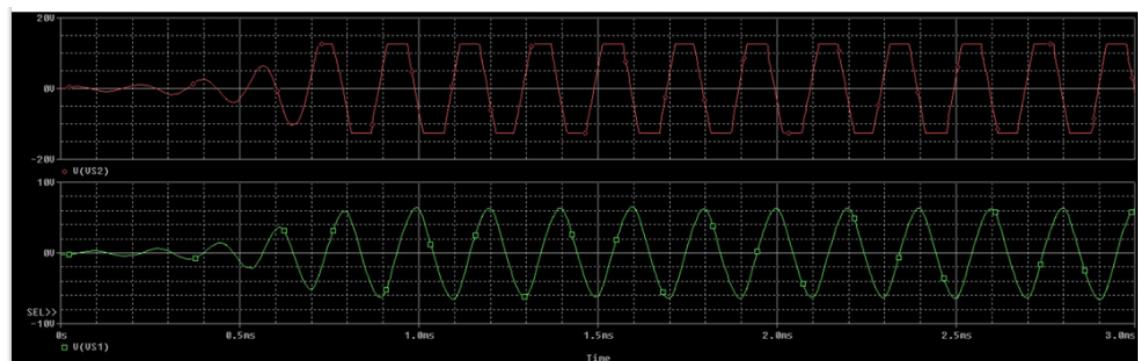


Figure 1.6: Simulation Oscillateur Réel

1.2 TP 2 : Filtrage

1.2.1 Introduction

Ce TP consiste à étudier un filtre passe-bande du 2 éme ordre en décrivant son comportement par le logiciel OrCAD.

1.2.2 Etude théorique

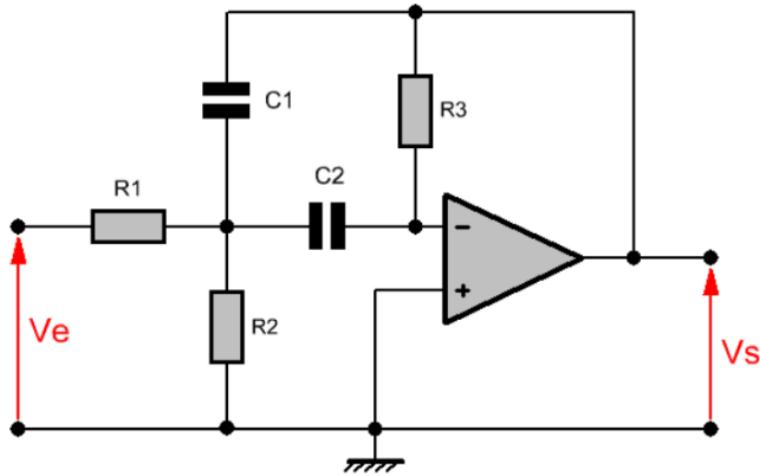


Figure 1.7: Montage de Filtre

Ce montage utilise la structure de Rauch pour réaliser un filtre passe-bande. Cette structure est caractérisée par une fonction de transfert sous forme:

$$H_{PBande}(j\omega) = A \frac{2jm\frac{\omega}{\omega_c}}{1 + 2jm\frac{\omega}{\omega_c} + (j\frac{\omega}{\omega_c})^2} \quad (1.9)$$

Pour le montage ci-dessus:

$$\begin{aligned} H(j\omega) &= -\frac{\frac{jC_2\omega}{R_1}}{-C_1C_2\omega^2 + \frac{1}{R_3}\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + jC_2\omega + jC_1\omega\right)} \\ &= -\frac{\frac{jC_2\omega}{R_1}}{\frac{R_1+R_2}{R_1R_2R_3} + j\omega\left(\frac{C_1+C_2}{R_3}\right) - C_1C_2\omega^2} \end{aligned} \quad (1.10)$$

Puisque $C_1=C_2$ Alors :

$$\begin{aligned} H(j\omega) &= -\frac{\frac{jC\omega}{R_1}}{\frac{R_1+R_2}{R_1R_2R_3} + 2j\omega\left(\frac{C}{R_3}\right) - C^2\omega^2} \\ &= -\frac{R_3}{2R_1} \frac{2j\omega\frac{R_1R_2}{R_1+R_2}C}{1 + 2j\omega\frac{R_1R_2}{R_1+R_2}C + (j\omega C)^2 R_3 \frac{R_1R_2}{R_1+R_2}} \end{aligned} \quad (1.11)$$

D'où :

Gain Maximale	Pilsation de coupure a -3dB	Coefficient Amortissement
$A_{max} = -\frac{R_3}{2R_1}$	$\omega_c = \frac{1}{c} \sqrt{\frac{1}{R_3(R_1//R_2)}}$	$m = \sqrt{\frac{(R_1//R_2)}{R_3}}$

1.2.3 Partie pratique

Dans ce bloc, nous avons travaillé avec un filtre passe-bande de la structure de Rauch. Le montage de ce filtre est composé de :

- Deux condensateurs (1 x 10 nF, 1 x 10 nF)
- 3 résistances (2 x 3,3K, 1 x 150K)
- Un amplificateur opérationnel LM741

Le schéma du filtre passe-bande sous OrCAD:

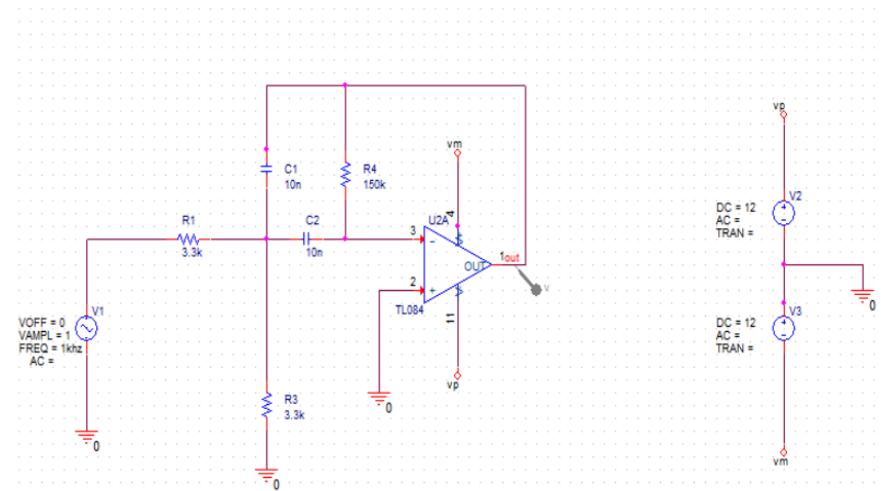


Figure 1.8: Schéma du Filtre Passe-Bande

Après une configuration d'analyse fréquence comprise entre 1 Hz et 1 MegHz on visualise les courbes suivantes :

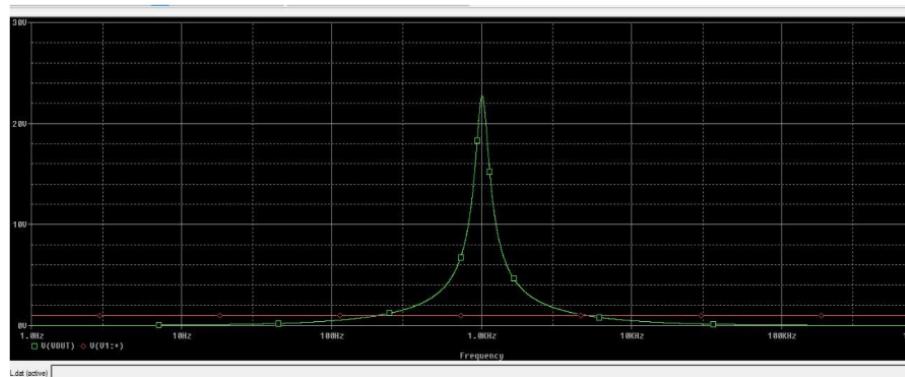


Figure 1.9: Module de Gain

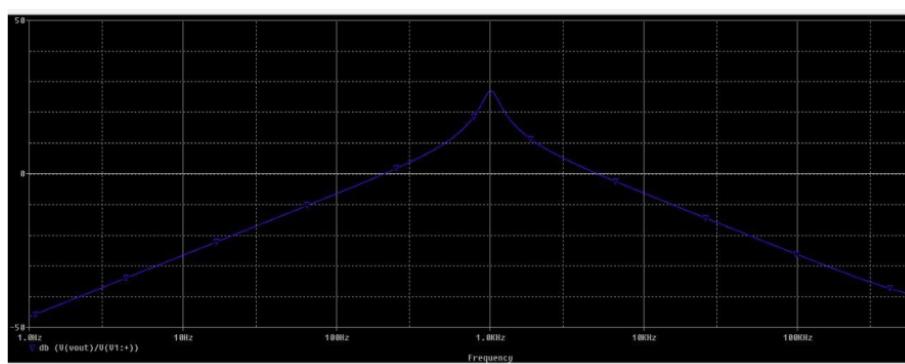


Figure 1.10: Gain en dB

1.2.4 Interprétations

Il s'agit bien d'un filtre passe-bande de second ordre à partir des courbes du gain et de phase trouvées.

La fréquence centrale vaut 1 kHz.

La bande passante $\Delta\omega$ dépend de la résistance R_3 car $R_3 = 2C\Delta\omega$.

Tableau des sensibilités calculées :

$R_3 : C_2$	150k	157.5k	142.5k	10nF	11nF	9nF
F_0 en kHz	1.0091	0.9861	1.0369	1.0091	0.9636	1.0649
G_{db}	27.13	27.55	26.84	27.13	26.70	27.57
Q	4.8	4.9	4.67	4.8	4.79	4.69
Sensibilité	-	0.41	0.54	-	0.02	0.22

1.2.5 Problème de l'écrêtage

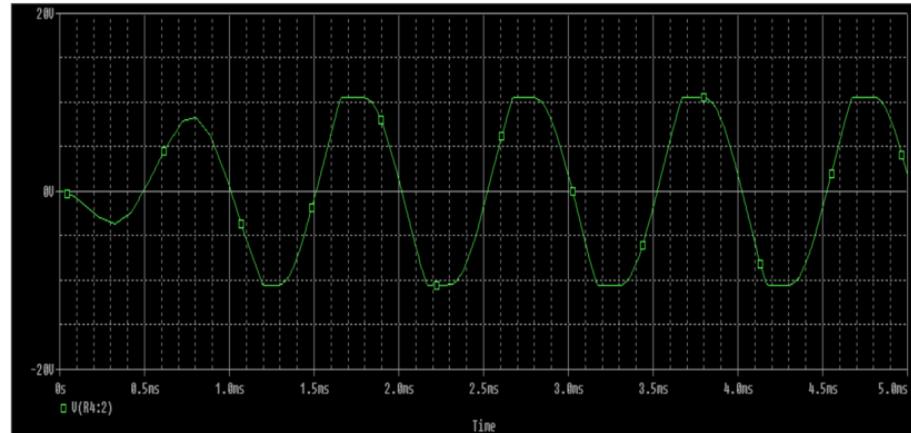


Figure 1.11: Tension de sortie

On constate la saturation de la tension de sortie, il existe deux solutions pour remédier à ce problème :

- Augmenter la tension d'alimentation.
- Diminuer la tension d'entrée.

Puisque la tension d'alimentation est fixée par l'AOP utilisé alors on a diminué la tension V_e afin d'éviter l'écrêtage.

1.3 TP 3 : Amplificateur opérationnel

L'amplificateur opérationnel est un composant électronique actif qui permet d'amplifier l'amplitude de la tension qui lui est appliquée via ses bornes d'entrée. Il est caractérisé principalement par sa bande passante, son gain et ses impédances d'entrée et de sortie. L'objectif de ce TP est principalement de mettre l'accent sur différentes caractéristiques d'un des montages d'amplification.

1.3.1 Saisie de schéma

Le schéma suivant représente un circuit d'amplification basé sur les transistors NPN et PNP, avec une alimentation symétrique de (-12V, 12V).

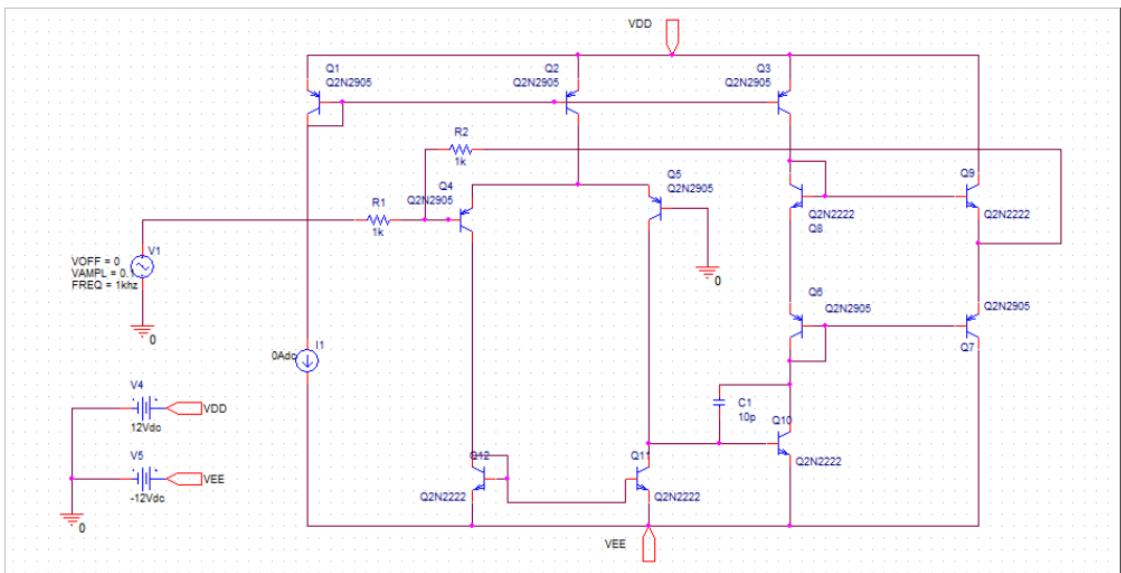


Figure 1.12: Schéma d'Amplification

1.3.2 Vérification du fonctionnement

En affectant les valeurs $I = 200\mu A$, $C = 10pF$, $R_1 = 1k\Omega$ et $R_2 = 10k\Omega$ aux blocs correspondants, on a réalisé le schéma de la figure 1.13, Ve étant un signal sinusoïdal d'amplitude 0.1V et de fréquence 1kHz.

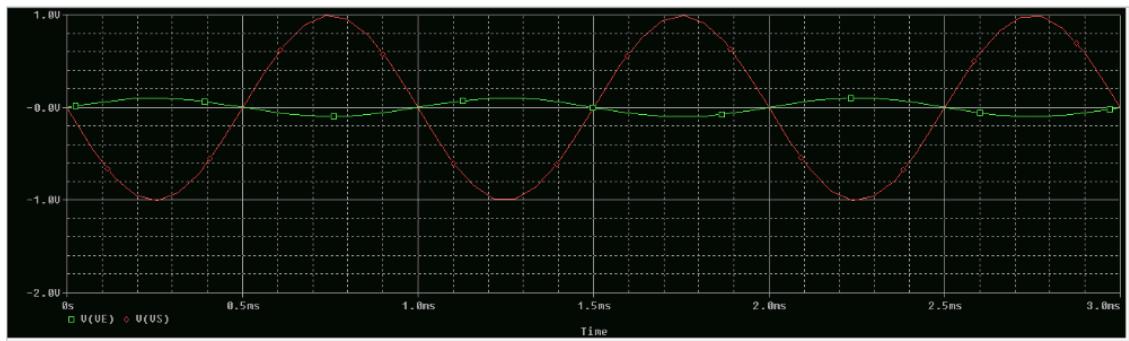


Figure 1.13: Simulation d'Amplification

Le schéma d'amplification a bien fonctionné, et l'amplitude du signal V_e est amplifiée.

1.3.3 Réponse en boucle ouverte

Un schéma bloc de l'amplificateur en fonctionnement doit être réalisé à travers son sous circuit ci-dessous.

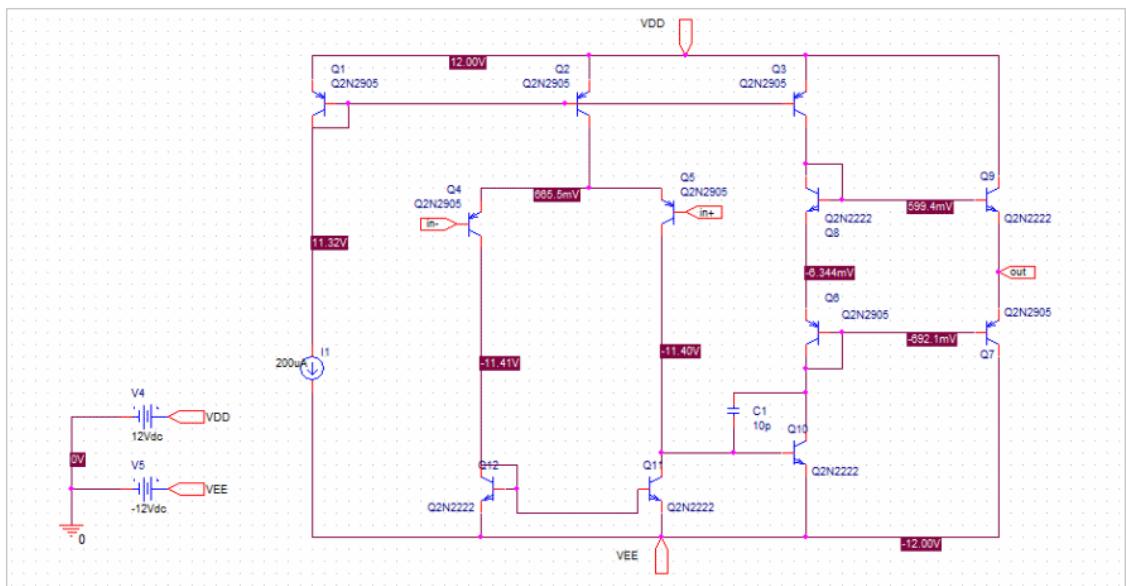


Figure 1.14: Sous-circuit de l'Amplificateur

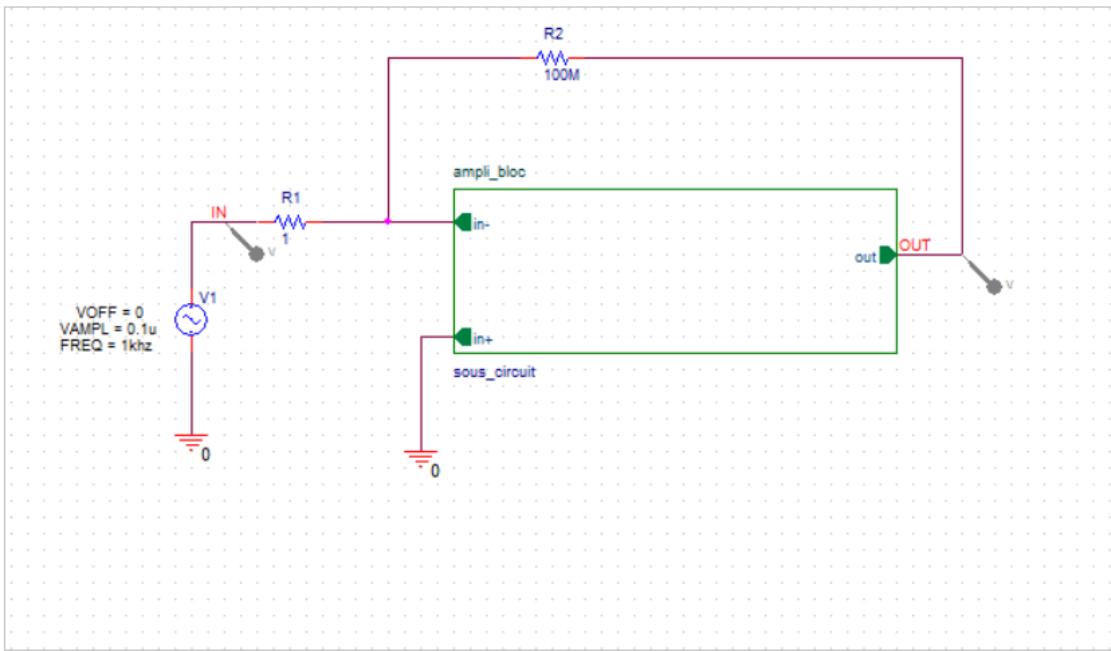


Figure 1.15: Bloc d'Amplificateur En Boucle Ouverte

Pour les valeurs de résistances et de tension d'entrée suivantes, on relevé la réponse en fréquences pour différentes valeurs de courant et de capacité; $R_1 = 1\Omega$ et $R_2 = 100M\Omega$.

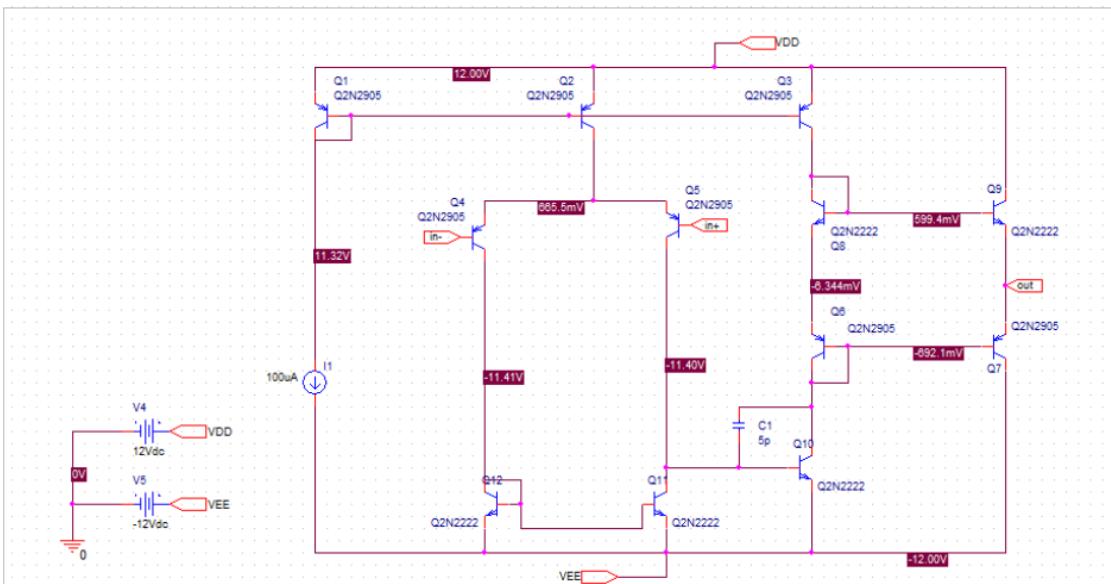


Figure 1.16: Montage en Fréquence BO pour $I=100\mu\text{A}$ et $C=5\text{pF}$

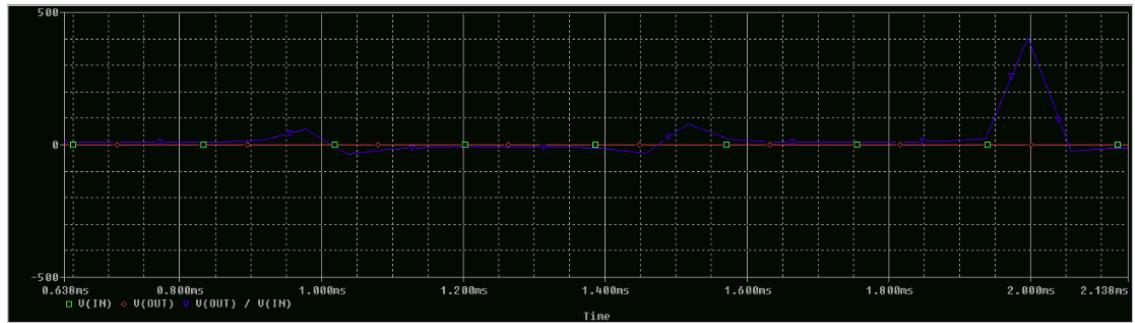


Figure 1.17: Réponse en Fréquence BO pour $I=100\mu A$ et $C=5pF$

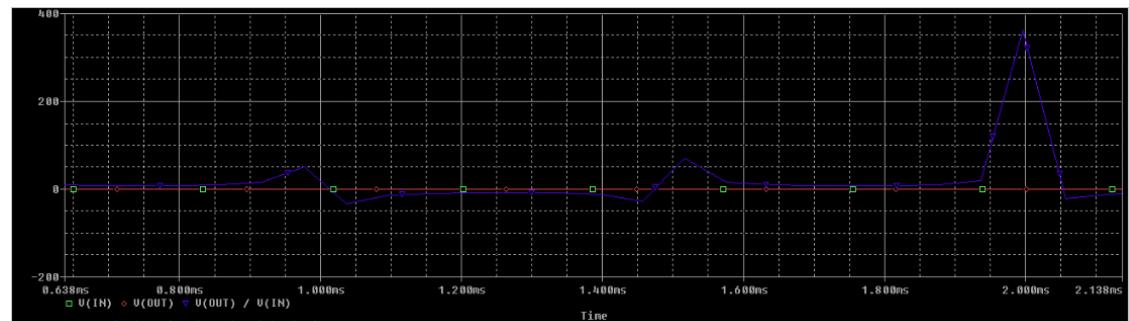


Figure 1.18: Réponse en Fréquence BO pour $I=200\mu A$ et $C=10pF$

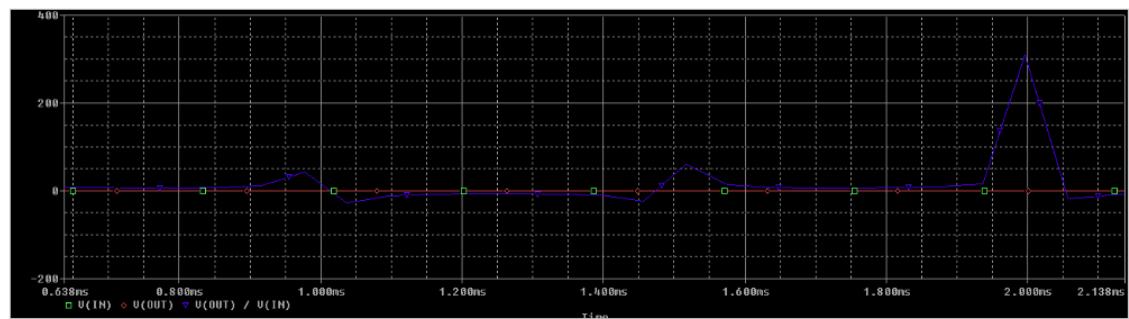


Figure 1.19: Réponse en Fréquence BO pour $I=500\mu A$ et $C=100pF$

1.3.4 Réponse en fréquence pour le gain unité

En utilisant le même schéma bloc d'amplification, mais en boucle fermée, i.e., $|V_e(t)| = 1V$ et $R_1 = R_2 = 1k\Omega$, on a relevé la réponse en fréquence.

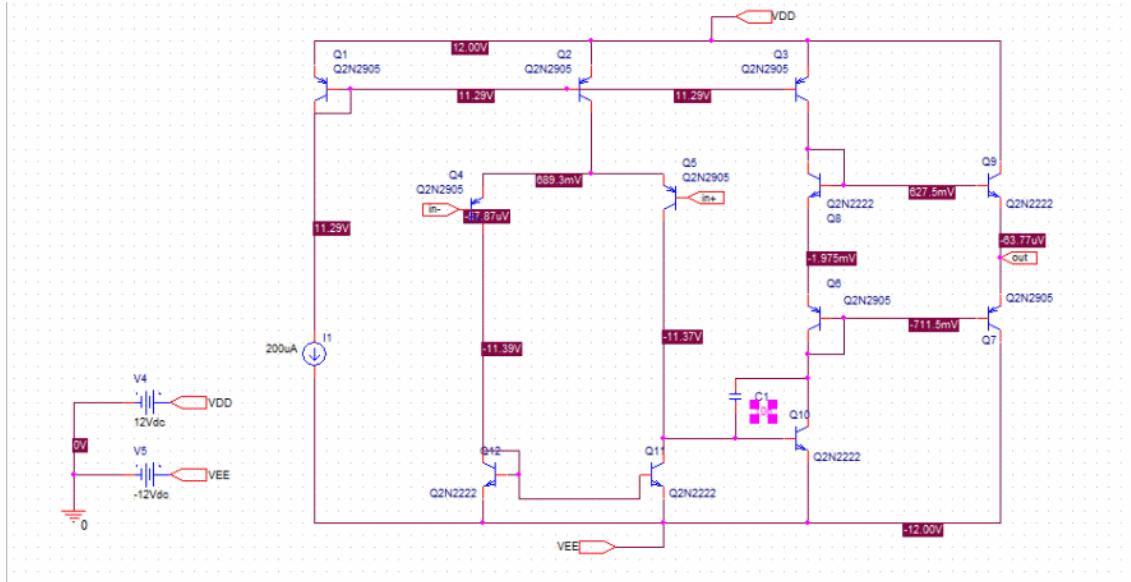


Figure 1.20: Montage en Fréquence BF pour $I=200\mu A$ et $C=10pF$

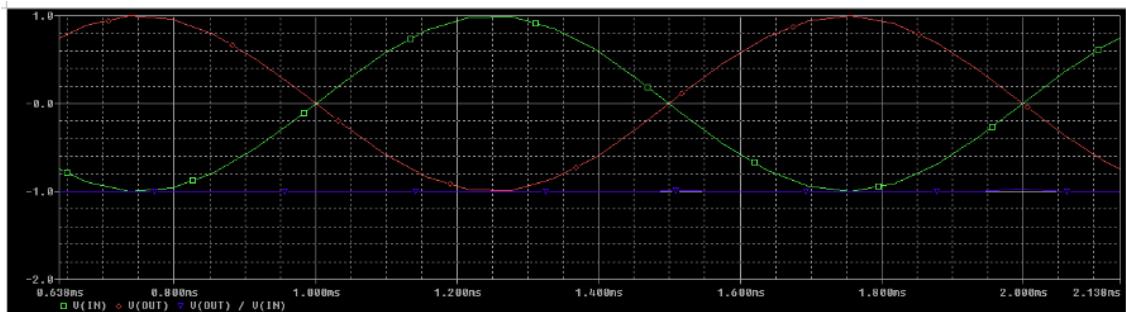


Figure 1.21: Réponse en Fréquence BF pour $I=200\mu A$ et $C=10pF$

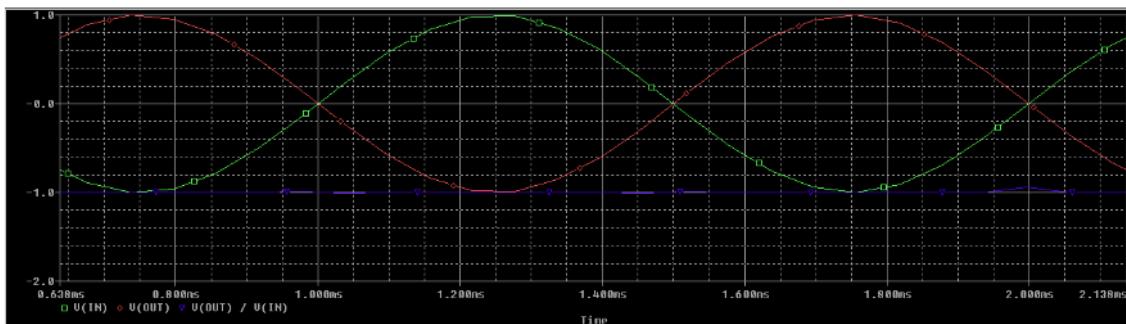


Figure 1.22: Réponse en Fréquence BF pour $I=500\mu A$ et $C=50pF$

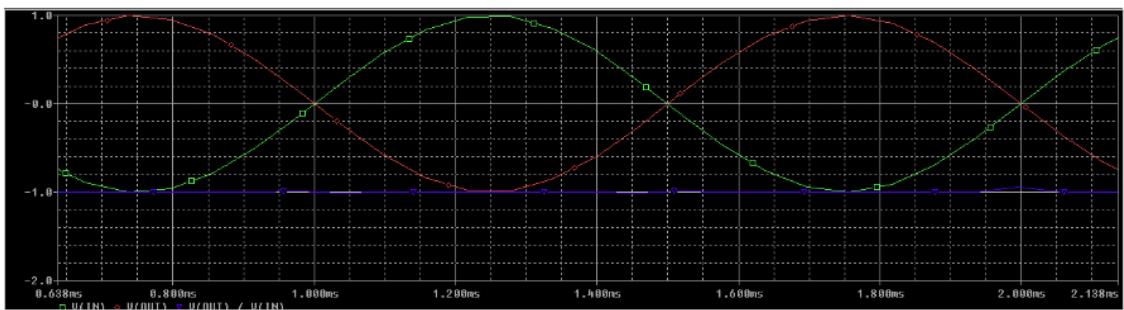


Figure 1.23: Réponse en Fréquence BF pour $I=500\mu A$ et $C=100\text{pF}$

Le gain en boucle fermée est plus important que celui de la boucle ouverte. //
 Ce gain en BF est constant, contrairement au gain en BO.

CHAPITRE 2

PROJET 1 : Modulation-Démodulation AM

Dans ce projet, nous allons explorer la modulation et la démodulation d'un signal analogique en utilisant la technique de modulation d'amplitude (AM). La modulation AM consiste à moduler la fréquence porteuse en fonction de la variation de l'amplitude d'un signal de message. Cela permet de transmettre des informations sur une bande passante plus large, ce qui est utile pour les communications radio et téléphoniques. Nous allons utiliser des équipements analogiques pour générer et recevoir les signaux modulés et démodulés, ainsi que pour effectuer des analyses et des mesures pour évaluer la qualité de la transmission. Le but de ce projet est de comprendre les concepts fondamentaux de la modulation AM et de voir comment ils s'appliquent dans un environnement réel.

2.1 Présentation de projet

Le circuit qu'on va réaliser est constitué de 5 sous-circuits ou blocs:

- Bloc 1 : Alimentation symétrique 15V, -15V.
- Bloc 2 : Oscillateur basse fréquence (le signal modulant).
- Bloc 3 : Oscillateur haute fréquence (la porteuse).
- Bloc 4 : Multiplieur pour réaliser la modulation des deux signaux.
- Bloc 5 : Démodulateur + filtres.

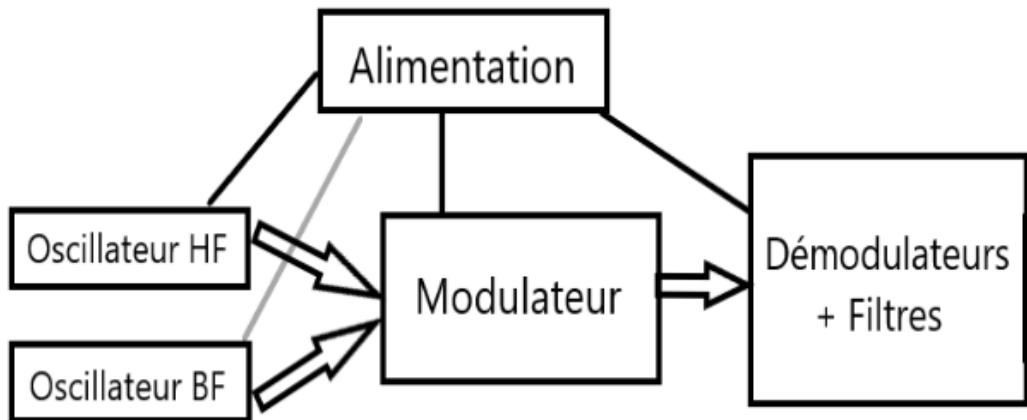


Figure 2.1: Les Différents Blocs du Projet.

Le bloc d'alimentation va nous apporter deux tensions symétrique (+15V, -15V), il va alimenter les blocs : Oscillateur HF, Oscillateur BF, Modulateur et Démodulateur + Filtres (voir Figure 1).

Le bloc Modulateur consiste à modifier l'amplitude de l'onde porteuse par le signal à transmettre (signal basse fréquence).

Le bloc Oscillateur HF va nous fournir l'onde porteuse.

Le bloc Oscillateur BF va modéliser le signal qu'on veut émettre (un signal basse fréquence).

Le bloc Démodulateur + Filtres va séparer le signal qu'on a transmis de l'onde porteuse.

2.2 Bloc 1 : Alimentation symétrique 15V, -15V.

2.2.1 Partie théorique:

Dans cette partie, on s'intéresse à comprendre théoriquement le comportement du bloc d'alimentation :

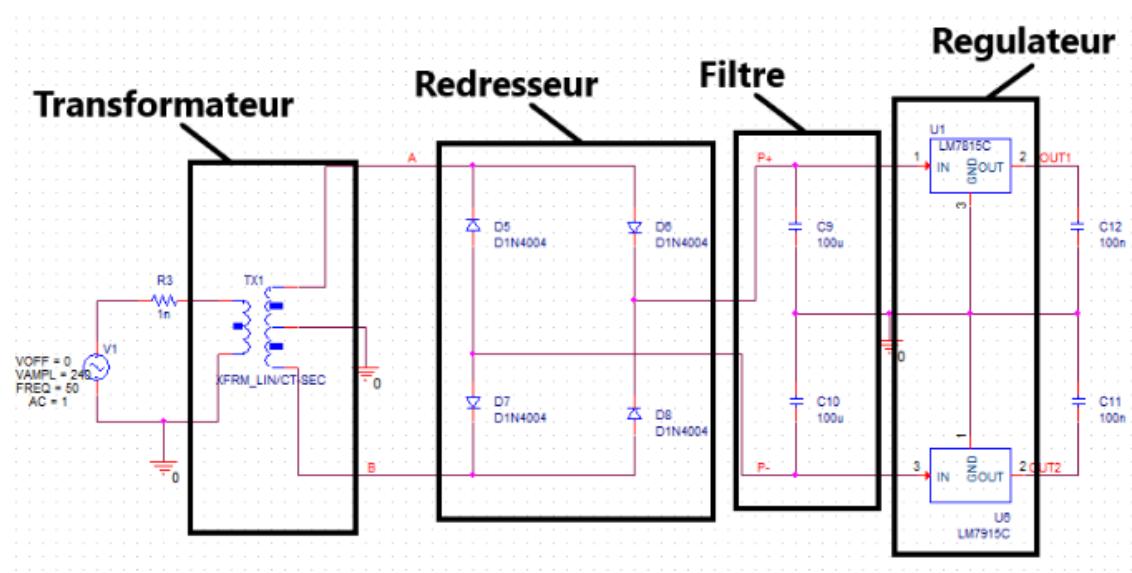


Figure 2.2: Bloc d'Alimentation

Le transformateur convertit la haute tension du secteur (240V) en une basse tension de sortie (de l'ordre de 20V). Le transformateur délivre cette tension vers un groupement de quatre diodes nommé pont de Graetz qui va nous permettre de faire un redressement double alternance comme le montre la figure 2.3:

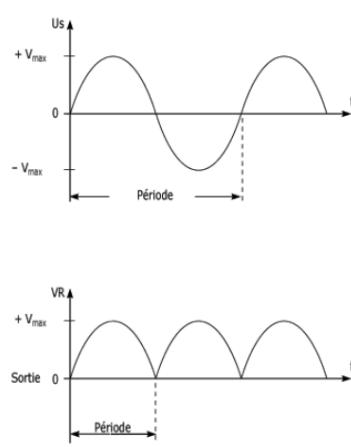


Figure 2.3: Redressement double alternance

On voit qu'après le redressement le signal ne conserve que l'alternance positif seulement.

Après le redresseur se trouve un filtre qui va nous permettre de réduire la composante alternative de ce signal (voir figure 2.4). Il existe plusieurs types de filtre qui permet de réaliser cette fonction (par exemple : filtres capacitifs, filtres inductifs). Le filtre utilisé dans notre cas est un filtre capacitif.

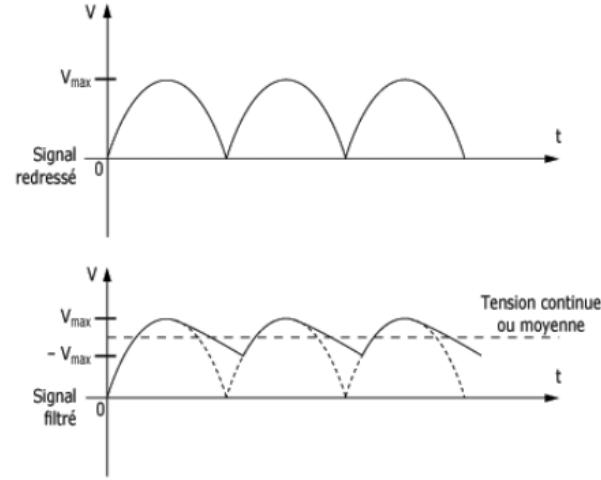


Figure 2.4: Filtrage de redressement double alternance

Après filtrage, les tensions contiennent des pics et des baisses qui ne sont pas désirables pour notre situation. Le régulateur a pour but d'éliminer ces fluctuations.

Un régulateur est un circuit intégré (comprenant des résistances, capacités, diodes Zener, voir figure 2.5) qui va nous permettre de stabiliser la tension de sortie.

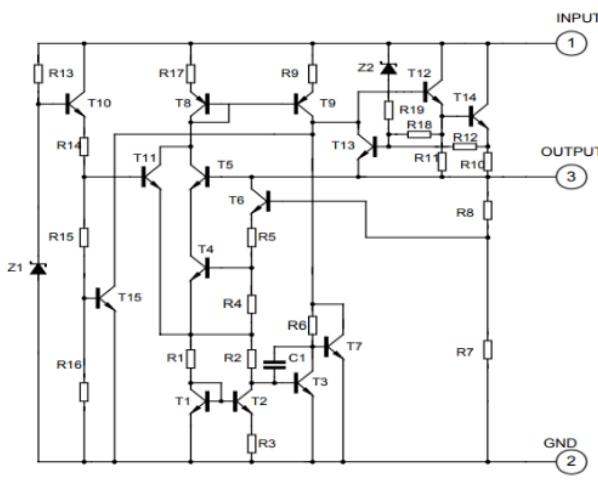


Figure 2.5: Le circuit d'un régulateur LM7815

2.2.2 Partie pratique:

Dans cette partie, on va simuler le comportement du circuit d'alimentation.

Pour réaliser cette tâche on a besoin de:

- Transformateur 220V – 2x22V (facteur de couplage = 0.1)
- Quatre diodes 1N4004
- Deux condensateurs 100 μ F
- Deux condensateurs 100nF
- Deux régulateurs : LM7815C + LM7915C (Boitier TO220)

Resultats de Simulation:

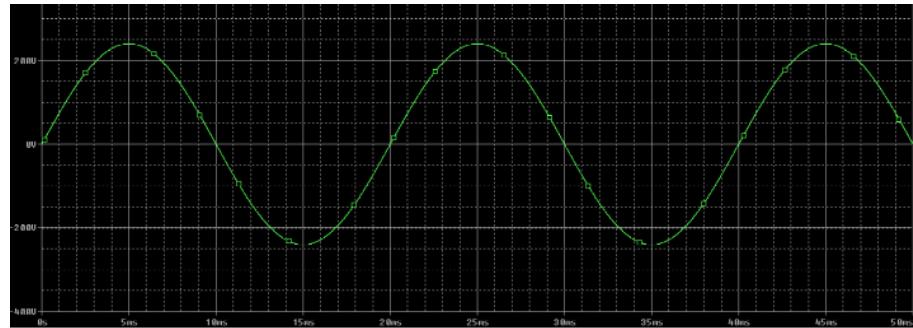


Figure 2.6: Simulation: Tension d'alimentation

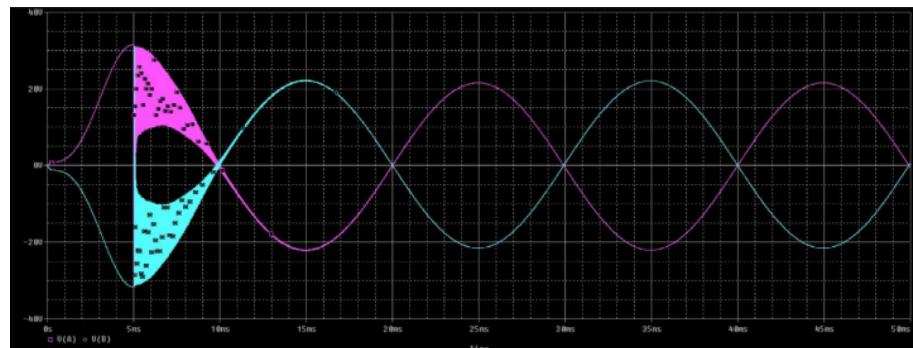


Figure 2.7: Simulation: Tensions $V(A)$, $V(B)$

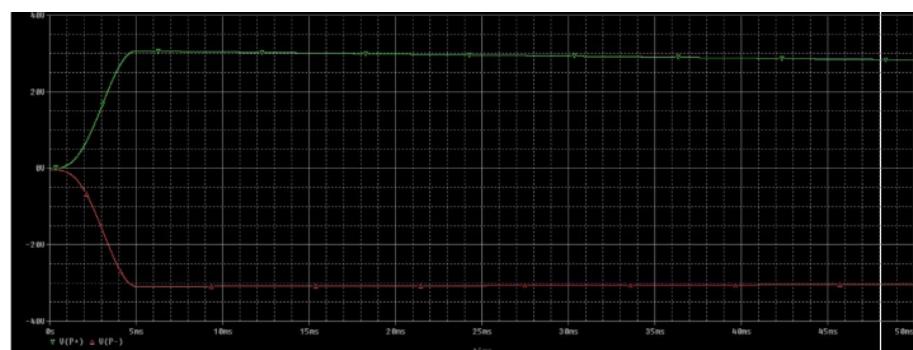


Figure 2.8: Simulation: Tensions $V(P+)$, $V(P-)$

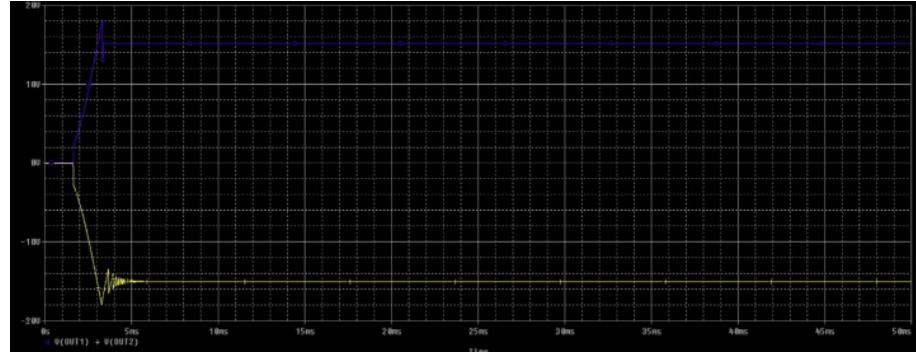


Figure 2.9: Simulation: Tensions $V(OUT1)$, $V(OUT2)$

Les valeurs permanentes de $V(OUT1)$ et $V(OUT2)$:

$$\begin{aligned} V(OUT1) &= +15.114V \\ V(OUT2) &= -15.003V \end{aligned} \tag{2.1}$$

On remarque que les tensions obtenues sont symétriques (+15V, -15V) et qui sont stable en régime permanent.

2.3 Bloc 2 : Oscillateur Basse Fréquence.

2.3.1 Partie théorique:

Dans cette partie, on veut étudier le comportement théorique d'un oscillateur nommé oscillateur à pont de Wien. Le circuit électrique de cet oscillateur est donné dans la figure ci-dessus :

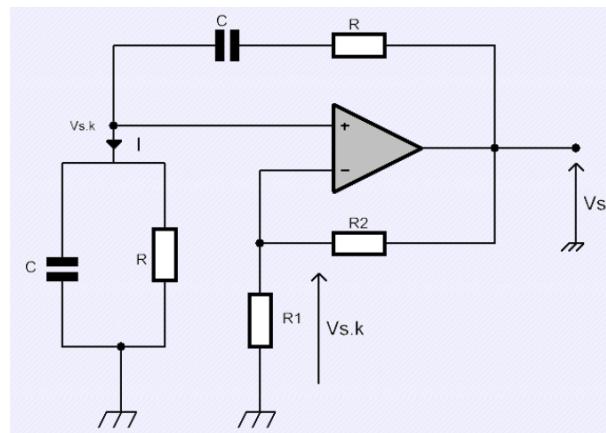


Figure 2.10: Le circuit électrique de l'oscillateur de Wien

Pour un amplificateur non inverseur : L'expression de la tension de sortie en fonction de la tension d'entrée est:

$$\underline{V_s} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \underline{V_e} \quad (2.2)$$

Donc le gain en tension de l'amplificateur est :

$$A = 1 + \frac{R_2}{R_1} \quad (2.3)$$

Pour qu'il y a des oscillations il faut que le gain en tension de l'amplificateur soit supérieur ou égale à 3, Donc :

$$1 + \frac{R_2}{R_1} \geq 3 \quad (2.4)$$

Ce qui implique que la condition d'oscillation: $R_2 \geq 2R_1$

2.3.2 Partie pratique:

Pour réaliser ce montage on est besoin de :

- Trois résistances R1, R3 et R4 de $1\text{k}\Omega$, et une résistance R2 de $2.2\text{k}\Omega$.
- Deux condensateurs de 100nF .
- Un amplificateur opérationnel LM741.

Simulation:

Le montage de L'oscillateur :

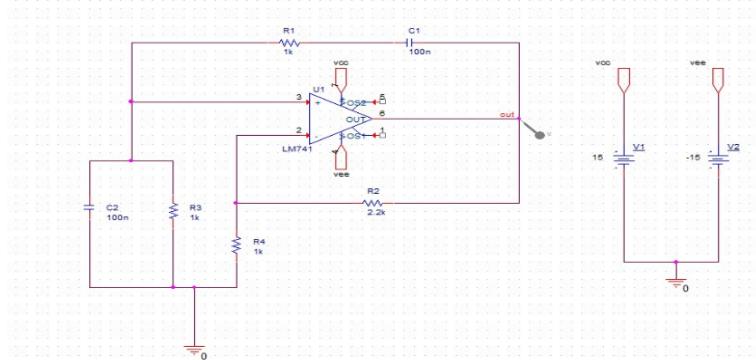


Figure 2.11: Le montage de L'oscillateur BF

Remarque: On voit que $R_2 \geq 2R_1$ ce qui est bien en accord avec la condition d'oscillation.

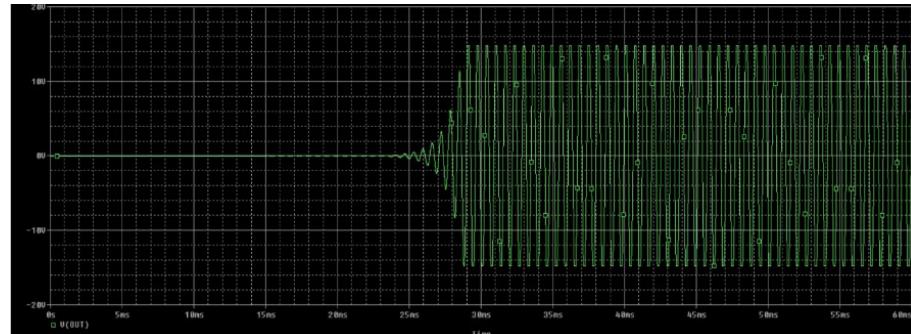


Figure 2.12: Simulation de L'oscillateur BF

L'amplitude de V_{OUT} en régime permanent : $V_{OUT} = 14.810V$

La fréquence de V_{OUT} est : $f_{V_{OUT}} = 1.55kHz$

2.4 Bloc 3 : Oscillateur haute fréquence

2.4.1 Partie théorique:

Le circuit qu'on va utiliser dans ce cas est un circuit de Colpitts.

Un oscillateur de Colpitts est un oscillateur qui se compose d'un dispositif de gain (un transistor bipolaire, un amplificateur opérationnel, ...) avec sa sortie connectée à son entrée dans une boucle de rétroaction contenant un circuit composé d'une inductance en parallèle avec deux condensateurs (voir Figure).

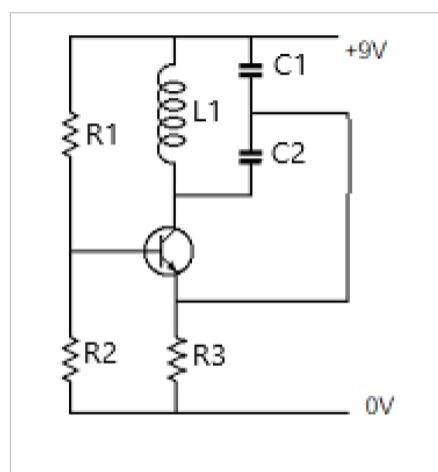


Figure 2.13: circuit de Colpitts

Le bloc LC dans cet oscillateur a pour rôle de générer un signal de haute fréquence

mais d'amplitude très faible. C'est pour cela qu'on a utilisé le transistor, qui va nous permettre d'amplifier ce signal.

2.4.2 Partie pratique :

Pour réaliser ce circuit, on a besoin de :

- Un transistor bipolaire 2N2222A
- Une inductance $1\mu\text{H}$
- 3 Résistances ($1 \times 12\text{k}\Omega$, $1 \times 8\text{k}\Omega$, $1 \times 1.5\text{k}\Omega$)
- 2 Condensateurs ($1 \times 0.1\mu\text{F}$, $1 \times 22\text{nF}$)

Le montage du circuit :

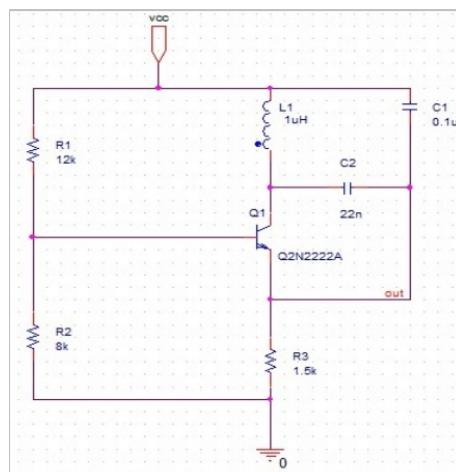


Figure 2.14: montage du circuit d'oscillateur HF

Simulation:

La tension V_{OUT} :

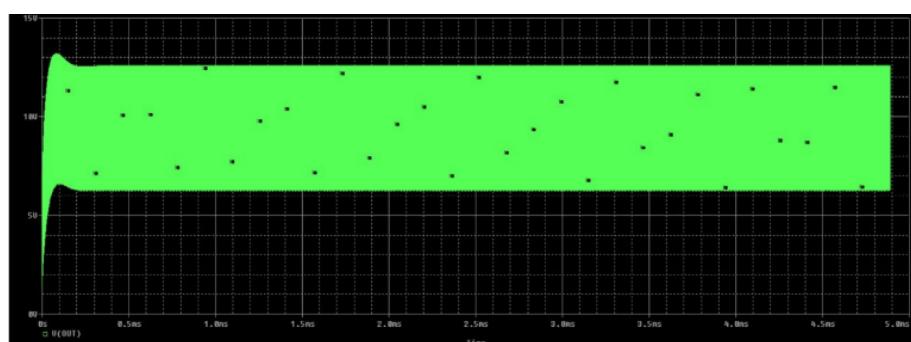


Figure 2.15: Simulation du circuit d'oscillateur HF

L'amplitude de V_{OUT} en régime permanent : $V_{OUT} = 12.582V$

La fréquence de V_{OUT} est : $f_{V_{OUT}} = 2MHz$

Remarque: On remarque que le signal comporte une composante continue. Pour l'éliminer il faut utiliser un circuit collecteur commun.

Pour concevoir un collecteur commun nous avons besoin de :

- Un transistor bipolaire 2N2222A
- 4 Résistances ($1 \times 9k\Omega$, $1 \times 10k\Omega$, $2 \times 1k\Omega$)
- 2 Condensateurs de $22nF$

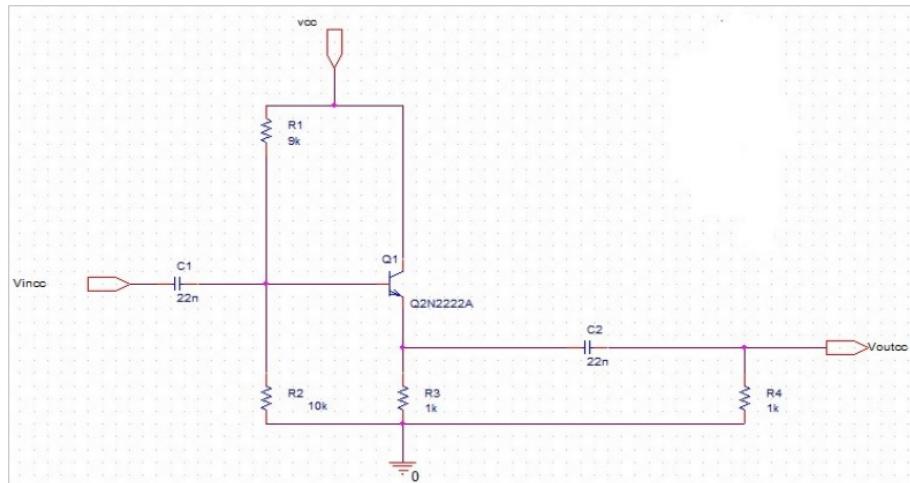


Figure 2.16: Montage du collecteur commun

Simulation avec collecteur commun:

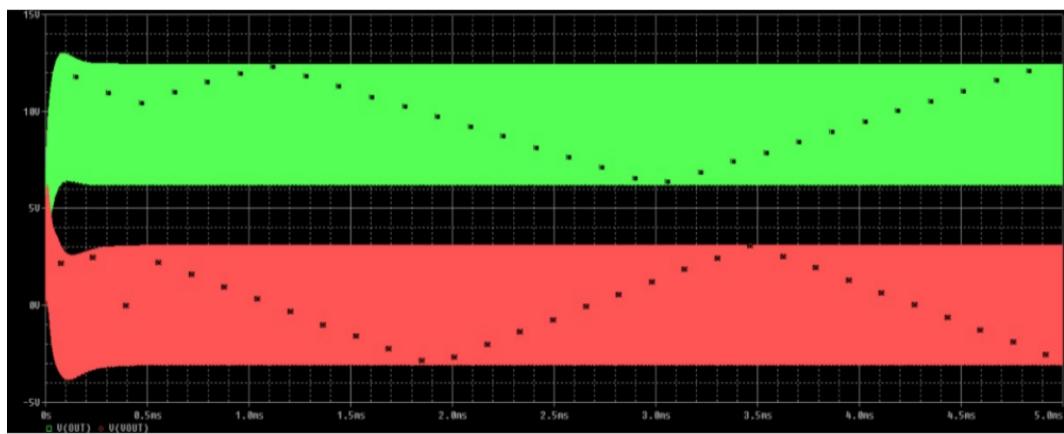


Figure 2.17: Simulation du circuit d'oscillateur HF avec collecteur commun

On voit que la composante continue est éliminée et le signal oscille autour de 0V.

2.5 Bloc 4 : Modulation

2.5.1 Partie théorique :

Principe de la modulation:

Le principe de modulation consiste à transmettre une onde de basse fréquence au moyen d'une onde électromagnétique de haute fréquence (porteuse) puis par démodulation on obtient le signal transmit.

Le dispositif qui permet de réaliser cette modulation est appelé le modulateur. Dans notre cas, il s'agit d'un composant électronique : le multiplicateur AD633. Les entrées du multiplicateur sont utilisées respectivement pour brancher le générateur BF et le générateur HF. Les tensions de ces deux entrées vont être multipliées l'une avec l'autre pour produire le signal à transmettre.

Le multiplicateur AD633 peut recevoir jusqu'à 5 tensions différentes en entrées : X_1 , X_2 , Y_1 , Y_2 et Z . La tension de sortie W en fonction de ces 5 entrées est donnée par la relation :

$$W = \frac{(X_1 - X_2)(Y_1 - Y_2)}{10} + Z \quad (2.5)$$

Phénomène de surmodulation

La surmodulation est un phénomène qui provoque une déformation du signal. La figure ci-dessous permet d'illustrer ce phénomène :

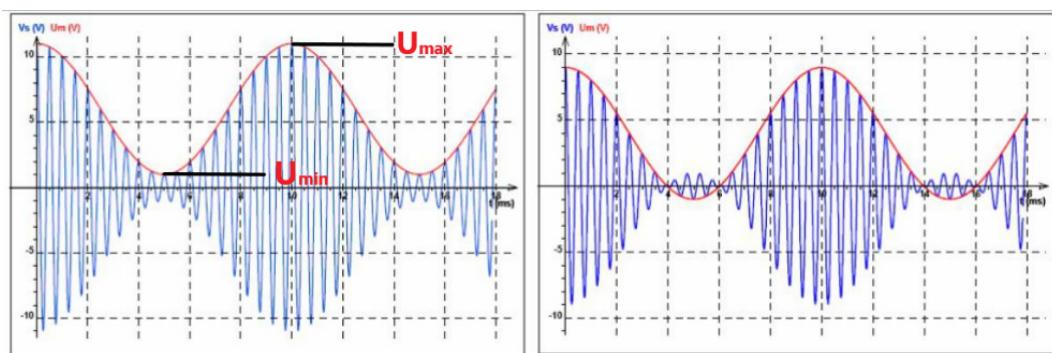


Figure 2.18: Phénomène de surmodulation

Le taux de modulation est défini par :

$$m = \frac{U_{max} - U_{min}}{U_{max} + U_{min}} \quad (2.6)$$

Pour éviter la surmodulation il faut que le taux de modulation m soit inférieur à 1.

2.5.2 Partie pratique :

Pour concevoir ce bloc nous avons besoin de :

- Deux condensateurs 100nF.
- Un multiplieur AD633J.

Le montage du modulateur est comme suit :

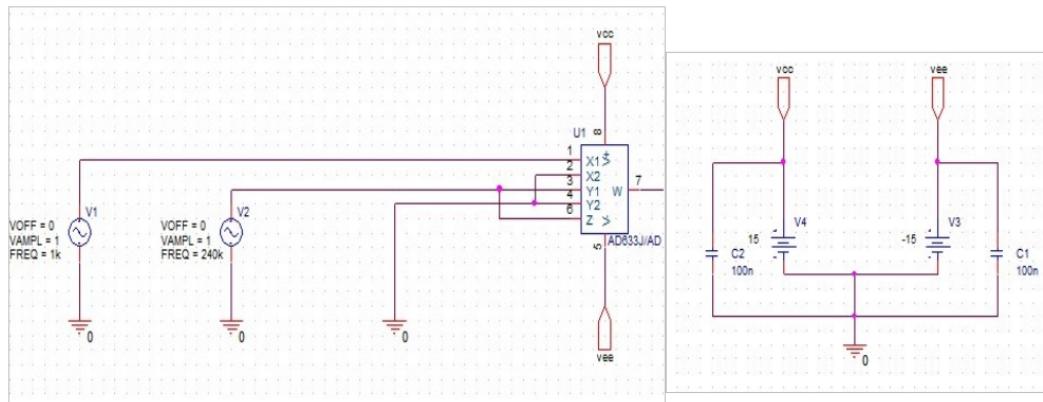


Figure 2.19: Montage du Modulateur

La fréquence de l'onde porteuse est 240kHz.

La fréquence du signal est 1kHz.

La tension de sortie est comme suit :

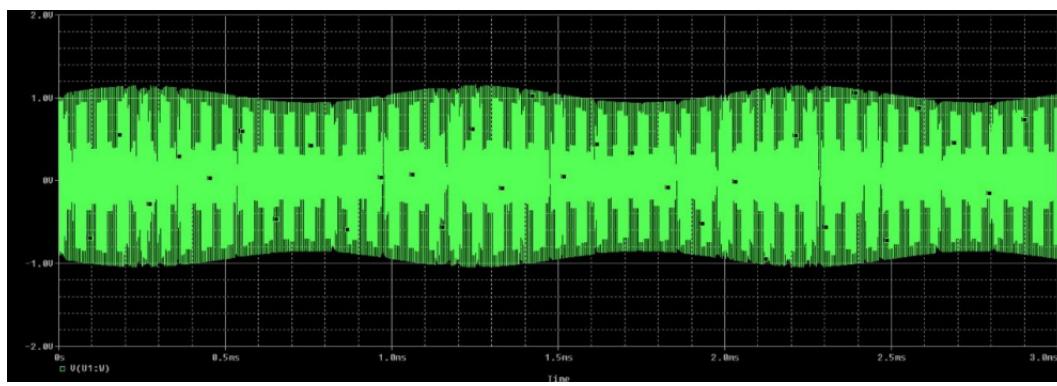


Figure 2.20: Sortie de Modulateur

Dans ces conditions : $U_{max} = 2.406V$ et $U_{min} = 1.786V$

Donc, le taux de modulation m est : $m = 0.158$

Ce qui correspond bien à une modulation parfaite.

Après modulation et émission du signal, il faut l'extraire de l'onde porteuse par démodulation, ce qui est l'objet de la partie suivante.

2.6 Bloc 5 : Démodulation

2.6.1 Méthode 1:

Principe de la démodulation:

La démodulation AM est le processus de récupération de l'information originale contenue dans un signal modulé en amplitude. Le signal modulant est généralement une onde sinusoïdale, appelée porteuse, qui est modulée en amplitude par le signal à transmettre. Lors de la démodulation AM, on utilise un circuit de détection pour séparer la partie porteuse du signal modulé de la partie modulante.

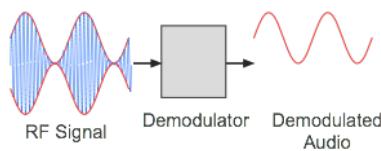


Figure 2.21: Principe de la démodulation

Filtre Passe-Bas

Un filtre de Rauch passe-bas est un type de filtre analogique utilisé pour supprimer les fréquences élevées d'un signal électrique. Il est composé d'un condensateur et d'une résistance connectés en série. Il permet de laisser passer les fréquences basses et de bloquer les fréquences élevées. Il est souvent utilisé pour éliminer les bruits haute fréquence dans les systèmes électroniques.

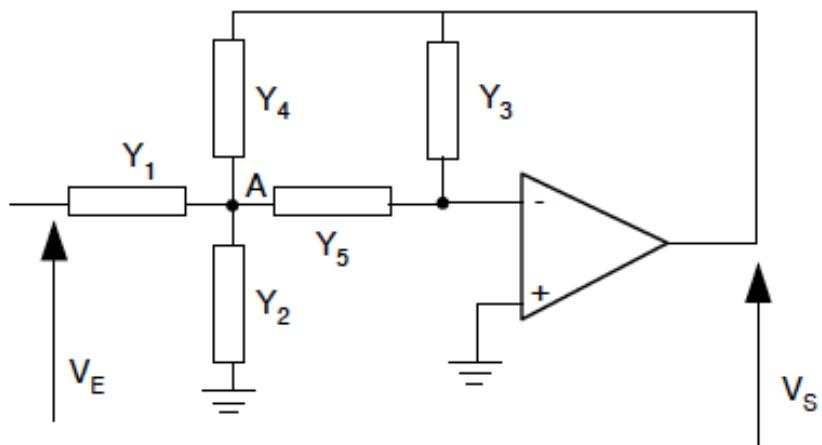


Figure 2.22: Filtre de Rauch

La détermination de la fonction de transfert est aisée en écrivant le théorème de Millman deux fois, au point A et sur l'entrée inverseuse de l'ampli-op qui est au potentiel de la masse puisque l'ampli-op fonctionne en régime linéaire. Ainsi :

$$\frac{\underline{V}_S}{\underline{V}_E} = - \frac{\underline{Y}_1 \underline{Y}_5}{\underline{Y}_5 \underline{Y}_4 + \underline{Y}_3 (\underline{Y}_1 + \underline{Y}_2 + \underline{Y}_4 + \underline{Y}_5)} \quad (2.7)$$

On obtient un passe-bas, passe-haut, passe-bande ou coupe-bande par un choix judicieux de résistances et condensateurs pour les admittances \underline{Y}_5 et \underline{Y}_1 .

Pour obtenir un passe-bas, il faut que le numérateur soit réel ce qui impose directement \underline{Y}_1 et \underline{Y}_5 réels, soit des résistances. Au dénominateur, la somme $(\underline{Y}_1 + \underline{Y}_2 + \underline{Y}_4 + \underline{Y}_5)$ sera complexe à partie réelle et imaginaire. Pour obtenir un second ordre, il faudra opter pour \underline{Y}_3 imaginaire, c'est-à-dire un condensateur. Du coup, le terme réel au dénominateur est nécessairement apporté par le produit $\underline{Y}_5 \underline{Y}_4$ ce qui impose \underline{Y}_4 réel, soit une résistance. Enfin, pour que la somme $(\underline{Y}_1 + \underline{Y}_2 + \underline{Y}_4 + \underline{Y}_5)$ soit complexe à partie réelle et imaginaire, il faut nécessairement que \underline{Y}_2 soit imaginaire pur, soit un condensateur. Nous avons ainsi déterminé la nature des cinq admittances. On choisit $\underline{Y}_1 = \underline{Y}_4 = \underline{Y}_5 = \frac{1}{R}$ et $\underline{Y}_2 = jC_1\omega$; $\underline{Y}_3 = jC_2\omega$. et en posant $p = j\omega$, La fonction de transfert s'écrit alors :

$$H(p) = - \frac{\frac{1}{R^2}}{\frac{1}{R^2} + pC_2(\frac{3}{R} + pC_1)} = - \frac{1}{R^2 C_1 C_2 p^2 + 3 R C_2 p + 1} \quad (2.8)$$

Qu'on met sous la forme canonique :

$$H(p) = \frac{H_0}{1 + 2m\frac{p}{\omega_0} + \frac{p^2}{\omega_0^2}} \quad (2.9)$$

Par identification immédiate: $\boxed{\omega_0 = \frac{1}{R\sqrt{C_1 C_2}}}$, $\boxed{m = \frac{3}{2}\sqrt{\frac{C_2}{C_1}}}$ et $\boxed{H_0 = -1}$.

On peut régler aisément le coefficient m du filtre par réglage des capacités des condensateurs mais alors on modifie la pulsation caractéristique.

Simulation de filtre

Pour concevoir ce bloc nous avons besoin de :

- Deux condensateurs (1nF, 10nF)
- 4 résistances (2x10K, 2x15K)

- Un amplificateur opérationnel LM741

Le schéma du filtre passe bas :

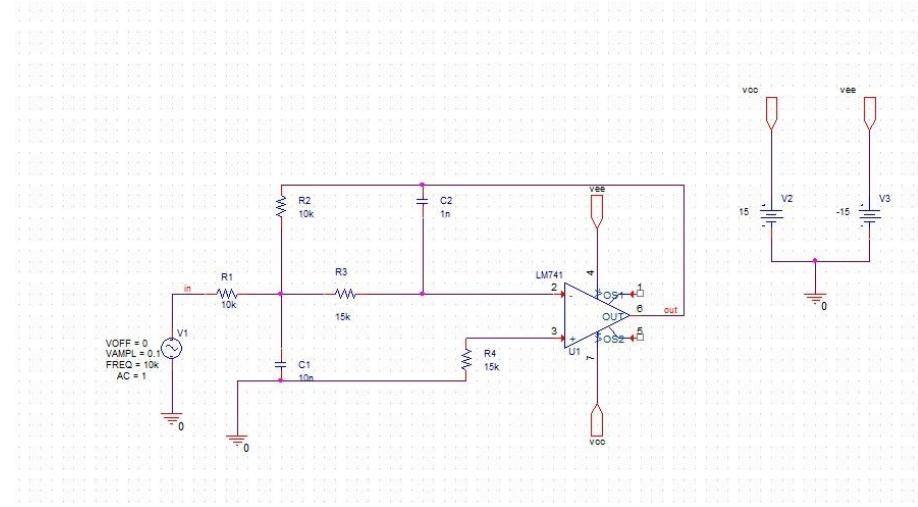


Figure 2.23: Schéma du filtre Passe Bas

Le signal de sortie V_{OUT} :

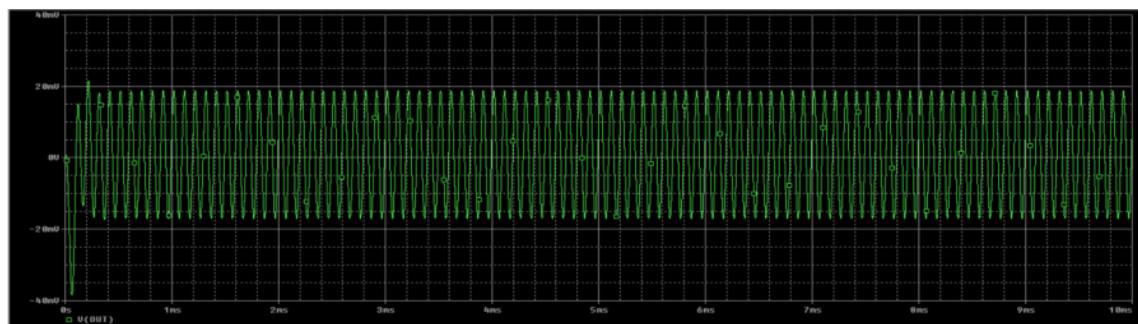


Figure 2.24: Analyse temporelle de filtre passe bas

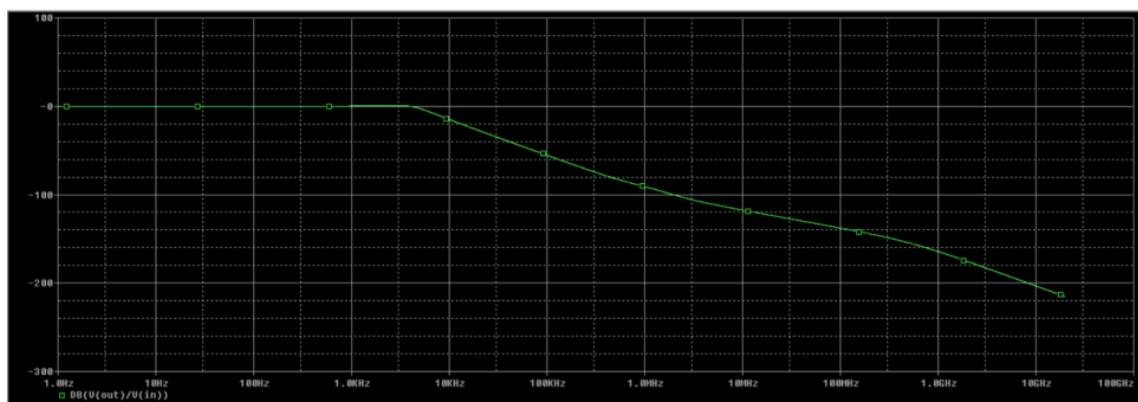


Figure 2.25: Analyse fréquentielle de filtre passe bas

Alors il s'agit bien d'un filtre passe bas.

Il est donc déduit que ce circuit prend un signal d'entrée à une fréquence spécifique et produit à la sortie un signal où les fréquences élevées ont été supprimées, ne laissant passer que celles désirées après la démodulation.

Démodulateur

La démodulation a été réalisée avec un détecteur de crête. Nous allons maintenant utiliser un multiplicateur et un filtre pour réaliser cette opération. Cette technique appelée détection synchrone est plus courante et est nécessaire lorsque le signal est fortement perturbé ou lorsque le taux de modulation est élevé.

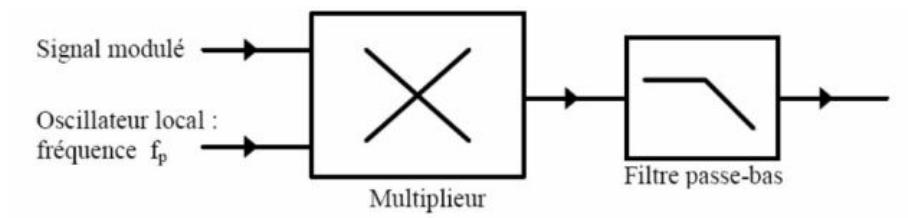


Figure 2.26: Schéma de principe de la détection synchrone

Simulation de démodulation

Le schéma du démodulateur AM 1:

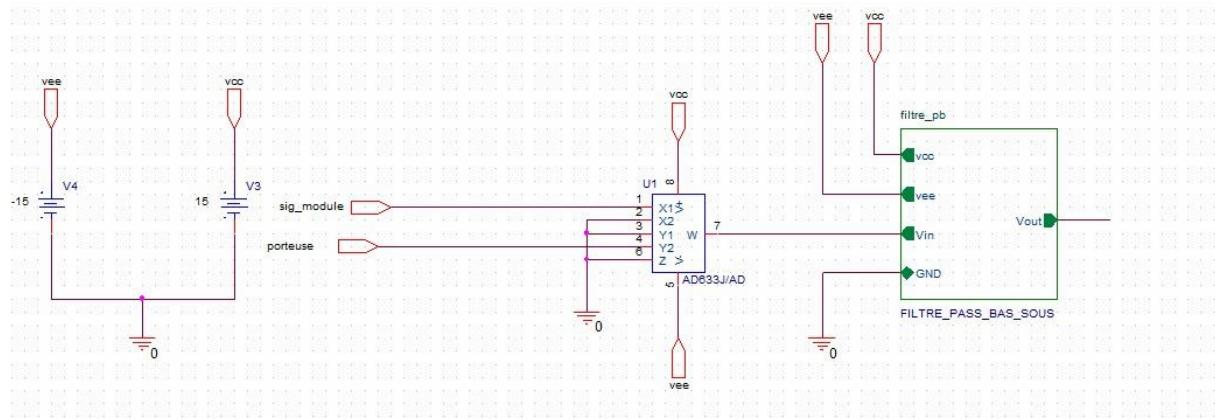


Figure 2.27: Schéma du démodulateur AM 1

Le signal V_{OUT} du démodulateur AM 1:

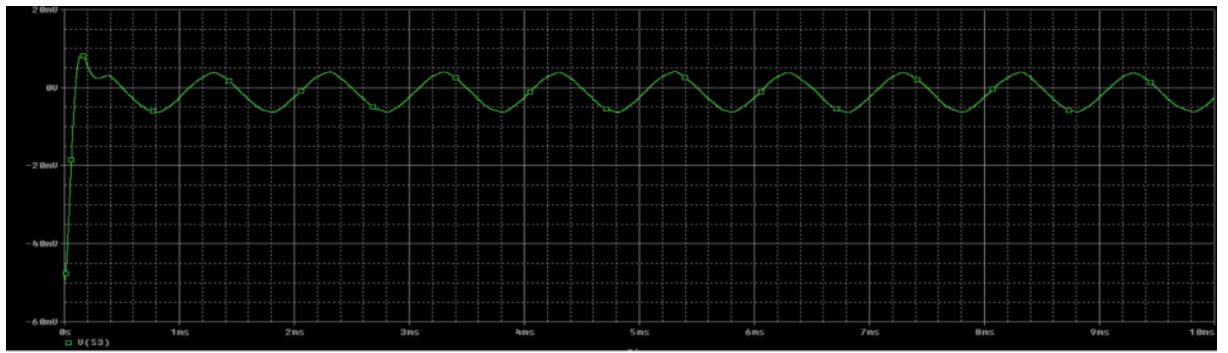


Figure 2.28: Simulation du démodulateur AM 1

On constate que le signal obtenu est un signal sinusoïdal unique à une fréquence plus faible que le signal modulé. C'est le rôle du démodulateur : annuler l'effet du modulateur, mais on remarque que l'amplitude a diminué.

2.6.2 Méthode 2:

Un circuit de détecteur d'enveloppe est utilisé pour extraire la composante continue (l'enveloppe) d'un signal modulé. Il fonctionne en utilisant un diode et un condensateur. Le signal modulé est appliqué à l'entrée du circuit, et la diode est utilisée pour rectifier le signal, c'est-à-dire pour ne laisser passer que les parties positives du signal. Le condensateur est utilisé pour filtrer les variations rapides de courant qui ont été rectifiées par la diode, laissant ainsi passer un courant continu qui représente l'enveloppe du signal modulé.

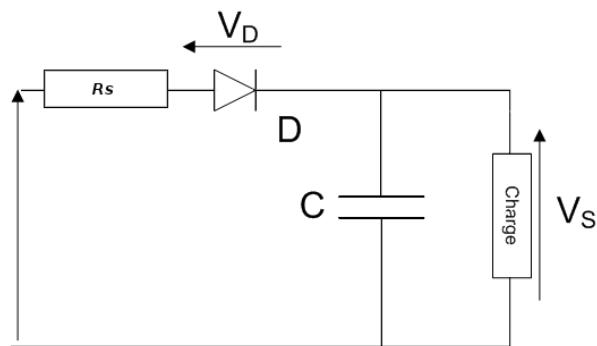


Figure 2.29: Circuit de détecteur d'enveloppe

Simulation de démodulation

Le schéma du démodulateur AM 1:

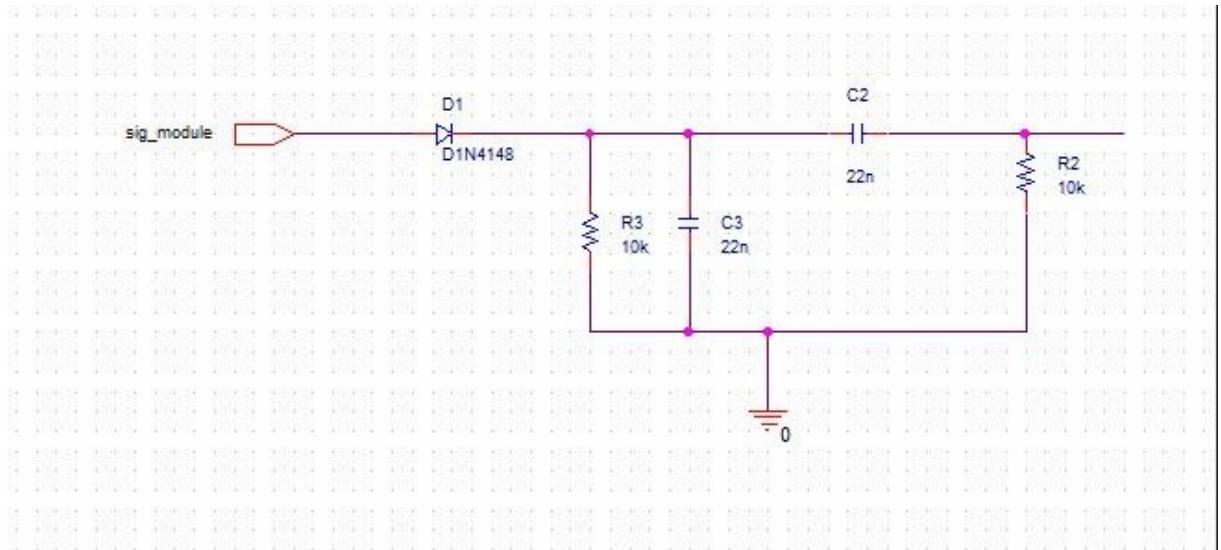


Figure 2.30: Schéma du démodulateur AM 2

Le signal V_{OUT} du démodulateur AM 2:

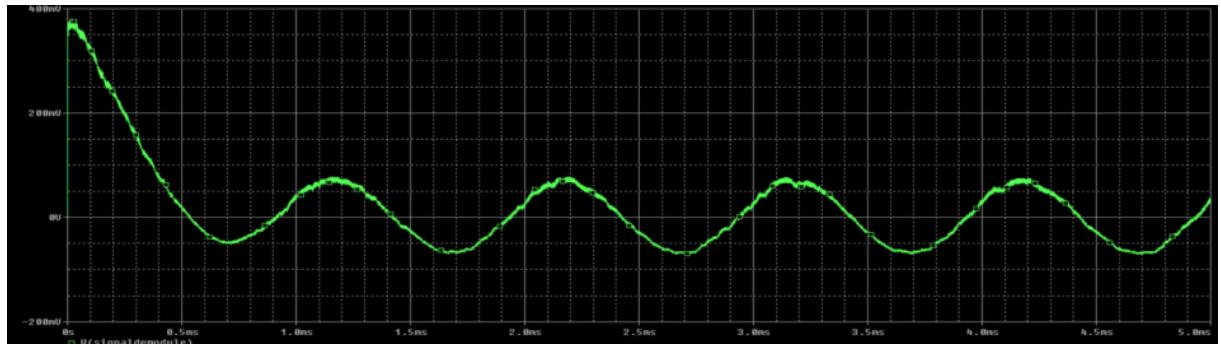


Figure 2.31: Simulation du démodulateur AM 2

La simulation montre que le signal obtenu est un signal sinusoïdal différent du signal modulé d'entrée, ce qui est l'objectif du démodulateur. Cependant, il y a des petites distorsions dans la forme du signal. Pour obtenir de meilleurs résultats, il est nécessaire d'utiliser un signal porteur de bonne qualité pour la modulation.

2.7 Circuit Global

Chacun des circuits traités est organisé sous forme de bloc hiérarchique et ils sont utilisés pour créer un circuit complet de modulation et de démodulation.

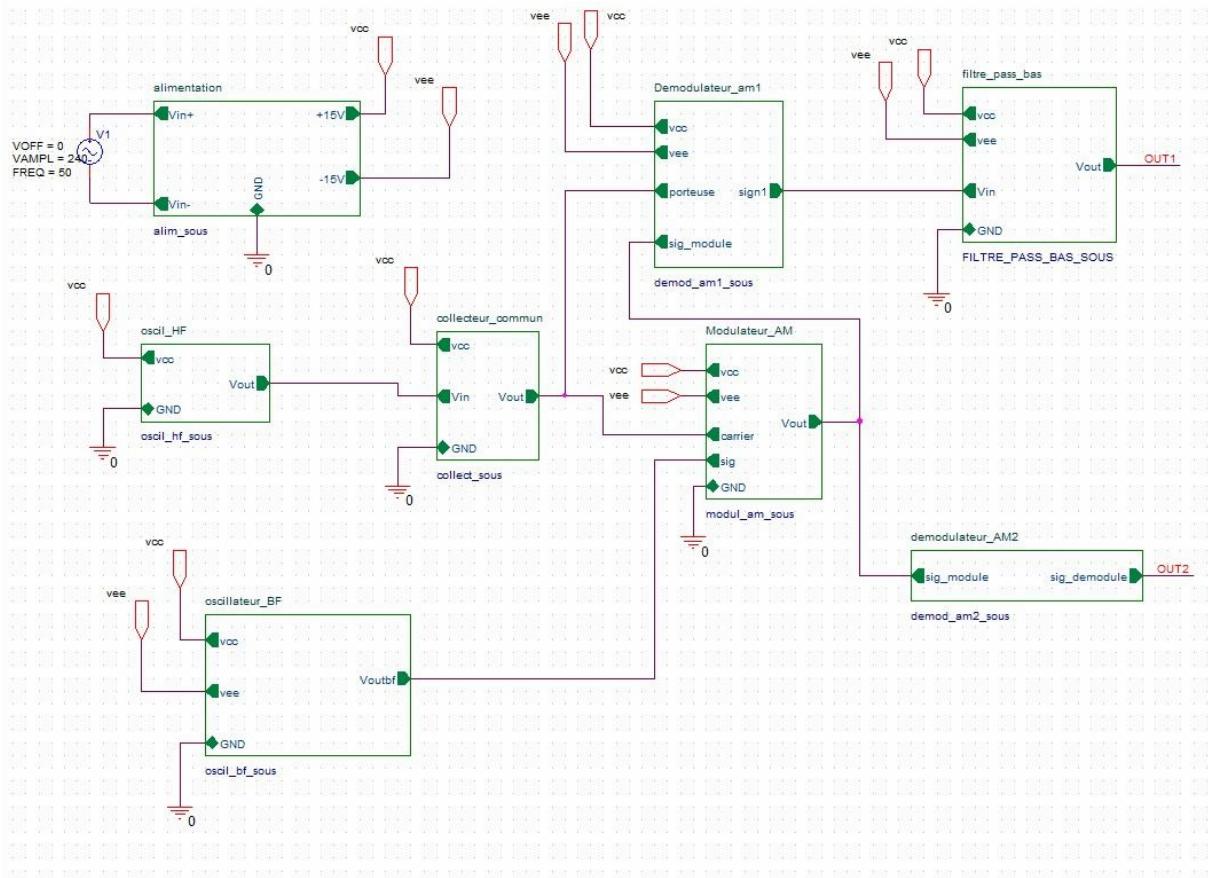


Figure 2.32: Schéma de Circuit Global

Tensions V_{OUT1} :

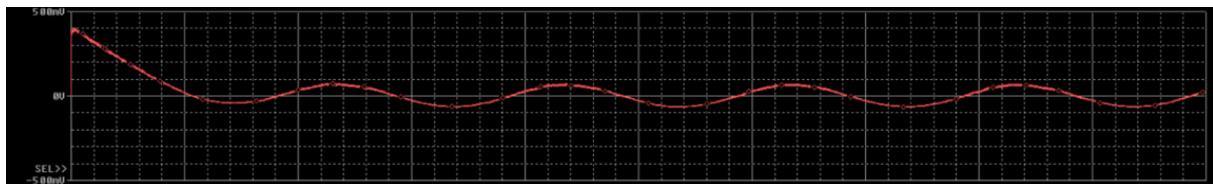


Figure 2.33: Simulation de Circuit Global V_{OUT1}

Tensions V_{OUT2} :

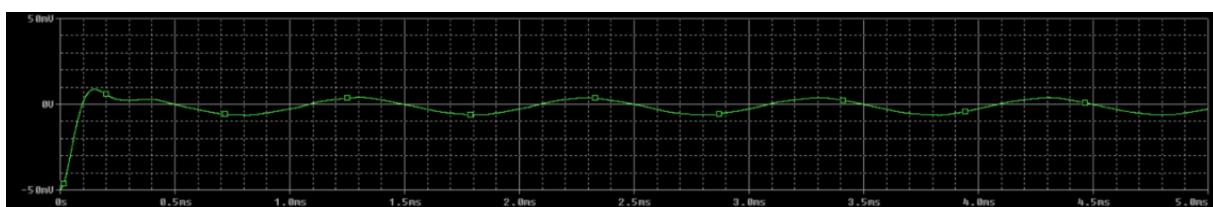


Figure 2.34: Simulation de Circuit Global V_{OUT2}

Remarques

Il est remarqué que les deux signaux sont sinusoïdaux, mais il y a des différences en termes de tensions d'offset. De plus, les amplitudes des deux signaux sont différentes. Il est donc déduit que la modulation par multiplicateur et filtre passe-bas est plus stable, car le deuxième signal présente un problème de bruit, comme le montre le schéma ci-dessous. En ajoutant un amplificateur, le résultat sera très satisfaisant.

2.8 Résultats:

Génération des signaux : Nous avons utilisé un générateur à haute fréquence pour générer le signal porteur et un générateur à basse fréquence pour simuler le signal à transmettre. Les résultats de la génération des signaux montrent que les signaux générés sont sinusoïdaux et ont des fréquences et des amplitudes appropriées.

Modulation : Nous avons utilisé un circuit modulateur pour moduler le signal de base avec le signal porteur. Les résultats de la modulation montrent que le signal modulé obtenu est également sinusoïdal, mais avec une amplitude et une fréquence différentes de celles des signaux de base et porteur.

Démodulation : Nous avons utilisé un démodulateur avec un multiplicateur et filtre passe-bas et un détecteur d'enveloppe pour démoduler le signal modulé. Les résultats de la démodulation montrent que le signal démodulé est également sinusoïdal, mais avec une amplitude et une fréquence similaires à celles du signal de base, ce qui démontre que le circuit de démodulation a réussi à extraire le signal de base à la fin de la transmission.

Comparaison des méthodes : les résultats obtenus montrent que les deux méthodes (multiplicateur et filtre passe-bas et détecteur d'enveloppe) sont efficaces pour la démodulation, cependant le multiplicateur et filtre passe-bas est plus stable et donne des résultats plus précis.

En suivant les étapes proposées, des obstacles ont été rencontrés avant d'atteindre notre objectif: problèmes de configuration de la simulation, problème de convergence, et erreurs de connection de nœud. Ces problèmes ont été résolus en faisant des essais, en choisissant une autoconvergence dans les options de configuration et en vérifiant que tous les fils soient correctement connectés.

Conclusion

En conclusion, ce projet a permis d'explorer les différents aspects de la modulation et de la démodulation d'amplitude en utilisant des techniques analogiques. Nous avons utilisé des oscillateurs à basse et haute fréquence, ainsi qu'un collecteur commun pour générer et moduler le signal. Nous avons également utilisé un modulateur AM à base d'un multiplicateur pour produire le signal modulé transmis à la destination. Pour la démodulation, nous avons utilisé une méthode basée sur un multiplicateur et un filtre passe-bas, ainsi qu'une autre méthode basée sur un détecteur de crête et un filtre passe-bas. Les résultats obtenus montrent que ces techniques analogiques sont efficaces pour la modulation et la démodulation d'amplitude, mais il existe également des technologies numériques qui peuvent être utilisées pour ces opérations. En somme, ce projet a contribué à une meilleure compréhension des concepts de modulation et de démodulation d'amplitude en utilisant des techniques analogiques.