



UNIVERSITE D'ANTANANARIVO
ÉCOLE SUPÉRIEURE POLYTECHNIQUE



MENTION ELECTRONIQUE

MEMOIRE EN VUE DE L'OBTENTION
DU DIPLOME DE LICENCE

Mention : ELECTRONIQUE

Parcours : ELECTRONIQUE ET COMMANDE

ETUDE ET REALISATION D'UN GENERATEUR BASSE FREQUENCE

Présenté par :

- **RAKOTOARISON Harivola Stéphanie**
- **RAKOTOMALALA Aina Mitantsoa Hanja**
- **RAKOTONDRAIBE Kanto**

Soutenue le : Jeudi 23 mars 2017

Numéro d'ordre : 007/EN/L3/EC/17

Année Universitaire : 2015 - 2016

UNIVERSITE D'ANTANANARIVO
ECOLE SUPERIEURE POLYTECHNIQUE

MENTION ELECTRONIQUE

**MEMOIRE EN VUE DE L'OBTENTION
DU DIPLOME DE LICENCE**

Mention : ELECTRONIQUE

Parcours : ELECTRONIQUE ET COMMANDE

**ETUDE ET REALISATION D'UN
GENERATEUR BASSE FREQUENCE**

Présenté par :

- **RAKOTOARISON Harivola Stéphanie**
- **RAKOTOMALALA Aina Mitantsoa Hanja**
- **RAKOTONDRAIBE Kanto**

Devant les Jury composé de :

Monsieur RANDRIAMAROSON Rivo Mahandrisoa Président

Monsieur RATSIMBAZAFY Guy Predon Jean Claude Examineur

Directeur de mémoire : Monsieur RATIANARIVO Paul Ezekel

Soutenu le : Jeudi 23 Mars 2017

Numéro d'ordre : 007/EN/L3/EC/17

Année Universitaire : 2015 - 2016

REMERCIEMENTS

Tout d'abord, je rends grâce à l'Éternel Dieu pour son Amour, ses bienfaits, sa miséricorde, sa bonté et sa protection durant mes études, et surtout lors de la préparation du présent mémoire. La soutenance de ce mémoire est aussi pour moi une occasion de remercier tous ceux qui m'ont apporté leurs conseils, leurs appuis et leurs soutiens lors de la réalisation de ce travail. Je tiens à remercier vivement :

- Monsieur **ANDRIANAHARISON Yvon Dieudonné**, Directeur de l'Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo qui m'a fait l'honneur et la gentillesse de nous soutenir durant les années de formation au sein de l'Ecole.
- Monsieur **ANDRIAMANANTSOA Guy Danielson**, Responsable de la Mention Electronique de l'Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo, pour l'éducation, les conseils et directives qu'il a investies pour chaque étudiant de la Mention Electronique.
- Monsieur **RANDRIAMAROSON Rivo Mahandrisoa** pour l'honneur qu'il m'a fait d'avoir bien voulu accepté de présider le jury de ce mémoire malgré la multiplicité de ses charges professionnelles et de ses obligations.
- Monsieur **RATSIMBAZAFY Guy Predon Jean Claude** pour l'honneur qu'il m'a fait en acceptant d'examiner ce travail.
- Monsieur **RATIANARIVO Paul Ezekel**, Directeur de ce mémoire, qui malgré ses lourdes responsabilités, a bien voulu nous accorder une partie de son temps pour nous diriger, nous conseiller et nous supporter du près ou de loin tout au long de la réalisation de ce mémoire.
- A tous les enseignants de l'école et de la Mention Electronique qui nous ont partagé leur savoir-faire et leur connaissance.
- A tous les membres de nos familles respectives et mes amis pour leurs soutiens moraux, affectifs et financiers.

Merci à tous.

RESUME

Suite à notre réalisation du GBF, on a constaté que ce générateur comme fournit une tension réglable en fréquence et amplitude. En effet, pour mettre à terme les projets électroniques, on a besoin principalement une source d'alimentation. C'est pourquoi un générateur transforme une énergie quelconque en énergie électrique.

Avec le générateur de fonctions arbitraires, avec les différents paramètres du signal, le générateur basse fréquence présente à sa sortie trois signaux de forme carrée, triangulaire et sinusoïdale. Les composants très petits et montés à la surface des circuits imprimés sont utilisés pour concevoir le générateur basse fréquence. Il est important et très utile dans le domaine de l'électronique surtout les petits signaux grâce à sa fréquence basse et son amplitude réglable. Tout dispositif électronique nécessite ce générateur pour une faible alimentation en tension dans son utilisation.

TABLE DE MATIERES

REMERCIEMENTS	i
RESUME.....	ii
TABLE DE MATIERES.....	iii
LISTE DES ABREVIATIONS	vii
LISTE DES FIGURES	viii
LISTE DES TABLEAUX.....	x
INTRODUCTION GENERALE.....	1
CHAPITRE I :.....	2
NOTION SUR LE GENERATEUR, SIGNAL ET FREQUENCE	2
1. NOTION DE GENERATEUR.....	2
1.1. Généralités sur le générateur.....	2
1.1.1. Générateurs électrochimique et électrostatique.....	2
a. Les générateurs électrochimiques	
b. Les générateurs électrostatiques	
1.1.2. Convention du générateur	3
1.1.3. Energie électrique fournie au circuit récepteur	3
1.1.4. Puissance électrique fournie.....	4
1.2. Les différents types de générateur	4
1.2.1. Générateur de tension.....	4
a. Générateur de tension continue	
b. Générateur de tension alternative	
1.2.2. Générateur de courant constant	7
1.3. Le Générateur basse fréquence	7
2. NOTION SUR LE SIGNAL.....	8
2.1. Introduction.....	8
2.2. Signal carré	9
2.3. Signal sinusoïdal	10
2.4. Signal triangulaire	11
3. NOTION DE FREQUENCE	13
3.1. Très basse fréquence	13
3.2. Basse Fréquence.....	13
3.3. Haute Fréquence	13

CHAPITRE II :	14
ETUDE THEORIQUE DU GENERATEUR BASSE FREQUENCE	14
1. GENERALITES SUR LES GENERATEURS BASSES FREQUENCES	14
1.1. Définition portant sur le GBF	14
1.2. Les générateurs de signaux arbitraires	14
1.3. Description du générateur basse fréquence.....	15
2. DIFFERENTS MODELES DE GENERATEUR BASSE FREQUENCE.....	15
2.1. Générateur Basse Fréquence GF3 ET GF4.....	15
2.1.1. Caractéristiques du GF3 et GF4	15
2.1.2. Constitution	15
2.1.3. Schéma du GF3 et GF4	16
2.2. Le générateur de fonction GX239.....	16
3. CONCEPTION D'UN GENERATEUR BASSE FREQUENCE	17
3.1. Alimentation stabilisée.....	17
3.1.1. Transformateur	17
3.1.2. Pont de diode	17
3.1.3. Filtre	18
a. Filtre passe bas	
b. Filtre passe haut	
c. Filtre passe bande	
d. Filtre coupe bande	
3.2. Générateur de fonction piloté par un trigger.....	21
3.2.1. Définition d'un trigger	21
3.2.2. Principe.....	21
3.2.3. Fonctionnement.....	21
3.2.4. Applications	22
3.2.5. Bascule astable à l'aide d'un amplificateur opérationnel pour avoir un signal carré	22
3.3. Intégrateur	26
3.3.1. Les amplificateurs opérationnels	26
3.3.2. Fonctionnement du montage	26
3.4. Oscillateurs sinusoïdaux	27
3.4.1. Généralités sur les oscillateurs quasi-sinusoïdaux	27
a. Structure des oscillateurs quasi-sinusoïdaux à boucle de réaction	

b. Etude des oscillateurs quasi-sinusoïdaux	
c. Etude théorique de l'oscillateur à pont de Wien	
3.4.2. Structure de l'oscillateur à pont de Wien- Identification des différents éléments	28
3.4.3. Calcul des caractéristiques de sortie.....	30
a. Le démarrage des oscillations	30
b. Le régime permanent: fréquence et amplitude des oscillations	30
3.4.4. Effet de la non linéarité sur la stabilité en fréquence	32
3.4.5. Observations et mesures à effectuer	32
a. Caractérisation des éléments de l'oscillateur (étude des éléments séparés)	
b. Etude du démarrage des oscillations	
c. Etude de la sortie en régime établi	
CHAPITRE III :	35
ETUDE PRATIQUE D'UN GBF	35
1. PRESENTATION DES COMPOSANTS	35
1.1. Module de stabilisation	35
1.1.1. Transformateur	35
1.1.2. Redresseur	36
1.1.3. Stabilisateur	36
1.2. Module oscillateur	36
1.2.1. Sélecteur de gamme de fréquence	36
1.2.2. Réglage de fréquence	36
1.2.3. Montage d'une bascule astable	36
1.2.4. Montage intégrateur	36
1.2.5. Montage d'oscillateur sinusoïdal	36
1.3. Module d'amplification	37
1.3.1. Montage amplificateur	37
1.3.2. Montage multiplicateur	37
1.4. Oscilloscope	37
2. SIMULATION SUR ORDINATEUR DU GBF	37
2.1. Sélecteur de gamme de fréquence.....	37
2.2. Réglage de fréquence	37
2.3. Réglage d'amplitude	37
2.4. Réglage offset du signal en créneaux.....	38

2.5. Additionneur inverseur	38
2.6. Protection de la sortie.....	38
2.7. Montage d'oscillateur à pont de Wien	40
2.8. Montage avec une tension sinusoïdale de fréquence constante	41
2.9. Montage avec une tension continue	41
3. REALISATION PRATIQUE	41
3.1. Schéma de chaque module.....	41
3.2. Affichage sur le voltmètre - ampèremètre	43
CONCLUSION GENERALE	44
ANNEXE 1 : MODELE EQUIVALENT DE THEVENIN ET DE NORTON.....	45
ANNEXE 2 : TRANSFORMEE DE FOURIER.....	46
ANNEXE 3 : DATASHEET LM 358.....	47
ANNEXE 4 : DATASHEET DU μA 741	49
ANNEXE 5 : LISTE DES COMPOSANTES.....	51
REFERENCES.....	52

LISTE DES ABREVIATIONS

CAO : Conception Assisté par Ordinateur

CMS : Composants Montés en Surface

EDF: Electricité De France

FSK: Frequency Shift Keying

GBF : Générateur Basse Fréquence

GF : Générateur de Fréquence

RIT : Régulateur Intégré de Tension

SB : Seuil Bas

SH : Seuil Haut

TTL : Transistor Transistor Logic

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1 : Pont de diode	3
Figure 1.2 : Fonctionnement d'une photopile.....	4
Figure 1.3 : Modèle équivalent de Thévenin.....	5
Figure 1.4 : Générateur de tension réelle [2]	5
Figure 1.5 : Caractéristique du générateur de tension réelle	5
Figure 1.6 : Caractéristique du générateur de tension réglable	6
Figure 1.7 : Générateur de tension idéale	6
Figure 1.8 : Caractéristique du générateur de tension idéale	6
Figure 1.9 : Générateur de courant	7
Figure 1.10 : Modèle équivalent de Norton.....	7
Figure 1.11 : Caractéristique du modèle équivalent de Norton	7
Figure 1.12 : Signal carré	9
Figure 1.13 : Signal sinusoïdal	11
Figure 1.14 : Signaux déphasés de 90° , dits « en quadrature de phase »	11
Figure 1.15 : Signaux déphasés de 180° , dits « en opposition de phase ».....	11
Figure 1.16 : Signal triangulaire	12
Figure 1.17 : Signal dent de scie.....	12
Figure 2.1 : Schéma fonctionnel des signaux arbitraires.....	14
Figure 2.2: Schéma fonctionnel du générateur basse fréquence.....	15
Figure 2.3 : Générateur basse fréquence GF3 et GF4.....	16
Figure 2.4 : Pont de diode.....	17
Figure 2.5 : Redressement double alternance à pont de Graetz a : signal d'entrée ; b : signal de sortie [9].....	18
Figure 2.6 : Filtre passe-bas.....	18
Figure 2.7 : Filtre passe-haut.....	19
Figure 2.8 : Filtre passe bande.....	19
Figure 2.9 : Filtre coupe bande.....	20
Figure 2.10 : Filtre coupe bande.....	20
Figure 2.11 : Schéma d'un trigger.....	21
Figure 2.12 : Réalisation d'une bascule astable.....	22
Figure 2.13 : Cyclogramme ou caractéristique de transfert d'une bascule astable.....	23
Figure 2.14 : Signal rectangulaire d'une bascule astable.....	24
Figure 2.15 : Fonctionnement d'un intégrateur.....	26

Figure 2.16 : Structure des oscillateurs quasi-sinusoidaux à boucle de réaction.....	27
Figure 2.17 : Structure de l'oscillateur à pont de Wien.....	29
Figure 2.18 : Système bouclé classique.....	29
Figure 2.19 : Caractéristique d'entrée-sortie.....	30
Figure 2.20 : Caractéristiques de V_f et V_{NL}	31
Figure 3.1 : Fonctionnement d'utilisation d'un GBF.....	35
Figure 3.2 : Forme des signaux à la sortie du Trigger et de l'intégrateur.....	38
Figure 3.3 : Conception d'un générateur basse fréquence.....	39
Figure 3.4 : Pont de Wien.....	40
Figure 3.5 : Forme du signal à la sortie.....	41
Figure 3.6 : Bloc d'alimentation.....	42
Figure 3.7 : Module Trigger - Intégrateur et pont de Wien.....	42
Figure 3.8 : Gain et Offset.....	43
Figure 3.9 : Schéma de notre GBF.....	43
Figure A.1: Equivalence entre modèle de Thévenin et de Norton a : Modèle équivalent de Thévenin ; b : Modèle équivalent de Norton	45
Figure A.2 : Pins de configuration de LM 358 [15].....	47
Figure A.3: Pins de connections du μA 741 [16].....	49

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I : L'estimation maximale absolue de LM 358 [15].....	47
Tableau II: Caractéristique électrique de LM 358 [15].....	48
Tableau III: L'estimation maximale absolue du μA 741 [16].....	49
Tableau IV: Caractéristique électrique du μA 741 [16].....	50
Tableau V : Liste des composantes.....	51

INTRODUCTION GENERALE

En électricité et en électronique, rien ne fonctionne sans la tension et le courant. Tout dispositif nécessite de générateur. Tout phénomène périodique ou non admet de fréquence qui caractérise les grandeurs électriques (tension et courant). Le générateur de signaux est utilisé à des fins de test essentiellement. Il permet de créer de nombreuses formes de signaux : sinus, carré, triangle ou encore rampe.

De nombreux paramètres de réglage permettent de modifier la forme du signal général. En effet, il est possible de modifier la fréquence et le rapport cyclique mais aussi de modifier l'amplitude du signal, voire du module avec un autre signal. L'ajout d'une composante continue est également souvent possible.

Ainsi notre travail s'intitulera : « Etude et réalisation d'un générateur basse fréquence », pour mieux comprendre ce qu'est la synthèse et l'étude de la fréquence. Le générateur basse fréquence est un appareil qui fournit de tension ou courant à fréquence basse et à amplitude qu'on peut varier.

Pour mieux élaborer cette étude, l'ouvrage comprend trois chapitres, mis à part l'introduction, la conclusion générale, les références bibliographiques et les annexes. Dans le premier chapitre, on parlera de la notion sur le générateur, signal et fréquence. Le second chapitre est axé sur les études théoriques portant sur le GBF. Finalement, le dernier sera réservé pour l'étude pratique et la réalisation.

CHAPITRE I :

NOTION SUR LE GENERATEUR, SIGNAL ET FREQUENCE

1. NOTION DE GENERATEUR

1.1. Généralités sur le générateur

Pour qu'il y ait une activité électrique dans un circuit, il faut un appareil capable de créer cette activité, il s'agit du générateur. En électrotechnique, un générateur électrique est un dispositif qui permet de produire de l'énergie électrique à partir d'une autre forme d'énergie.

Un générateur fournit de l'électricité pour alimenter un appareil. Par contre, un récepteur est un dispositif qui consomme l'énergie produite par le générateur. En électricité, un générateur de basses fréquences permet de délivrer un signal observable sur un oscilloscope

1.1.1. Générateurs électrochimique et électrostatique

Un générateur électrique est un système transformant une énergie quelconque en énergie électrique, il n'en crée pas (exemple une dynamo). Il existe des générateurs électrochimiques et des générateurs électrostatiques.

a. Les générateurs électrochimiques

Les générateurs électrochimiques génèrent une tension continue et sont principalement utilisés dans des appareils électriques portatifs. Il peut s'agir par exemple de piles ou d'accumulateurs électrochimiques. Ces derniers transforment l'énergie chimique en énergie électrique.

b. Les générateurs électrostatiques

Les générateurs électrostatiques, quant à eux, convertissent l'énergie mécanique en énergie électrique et sont peu employés en dehors des accélérateurs d'ions ou d'électrons. Les « machines tournantes » sont également des générateurs. On trouve parmi elles les dynamos et les alternateurs qui sont constitués d'un rotor (inducteur) et d'un stator (induit). Le rotor peut être un aimant ou un électroaimant qui tourne et crée un champ magnétique induisant un courant électrique dans le stator (lui aussi muni d'aimants ou d'électroaimants). La fréquence du courant électrique est fonction de la vitesse de rotation du rotor. En électricité, un générateur de signaux est un appareil qui permet de délivrer un signal électrique de forme donnée (sinus, créneau) à partir d'une

alimentation électrique; observable sur un oscilloscope. Ce peut être notamment un générateur de tension, ou un générateur de courant.

1.1.2. Convention du générateur

Lorsque nous étudions un générateur à l'intérieur d'un circuit électrique, on adopte une convention régissant le sens de la flèche du courant. La figure 1.1 montre cette convention.

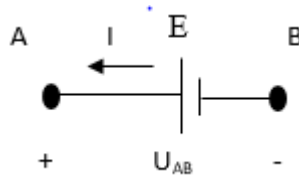


Figure 1.1 : Convention générateur

1.1.3. Energie électrique fournie au circuit récepteur

En régime permanent, l'énergie électrique fournie par le générateur au circuit récepteur pendant le temps Δt est :

$$W_e = U_{AB} \times I \times \Delta t$$

{

W_e : énergie électrique fournie en J

U_{AB} : tension électrique en V

I : intensité du courant électrique en A

Δt : Durée du transfert

Exemple :

- La photopile : est capable de convertir l'énergie reçue par rayonnement en énergie électrique. La figure 1.2 montre le fonctionnement d'une photopile.

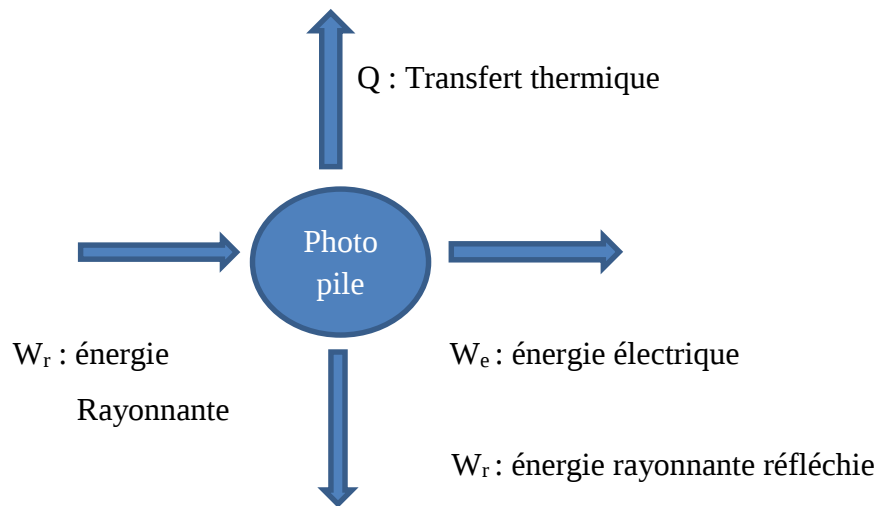


Figure 1.2: Fonctionnement d'une photopile

- La génératrice : la rotation d'un rotor à l'intérieur d'un stator (travail mécanique) produit une énergie électrique mais aussi un transfert thermique qui est dissipé. [1]
- La pile électrochimique : va convertir une énergie chimique en énergie électrique et en transfert thermique.

1.1.4. Puissance électrique fournie

On sait que $P = \frac{dW_e}{dt}$ (1.1)

$$P = U_{AB} \times I$$

P est exprimée en Watt (W)

1.2. Les différents types de générateur

1.2.1. Générateur de tension

a. Générateur de tension continue

Le générateur de tension continue est un dipôle capable d'imposer une tension constante quelle que soit la charge reliée à ses bornes. Il est également appelé source de tension.

Un grand nombre de générateurs réels peuvent être simplement modélisés par l'association d'un générateur de tension et d'une résistance en série qui provoque une chute de tension aux bornes de l'ensemble lorsque le courant débité augmente. Un tel modèle s'appelle modèle de Thévenin (Voir ANNEXE 1) d'un générateur réel. [2]

Le modèle équivalent de Thévenin est représenté sur la Fig.1.3.

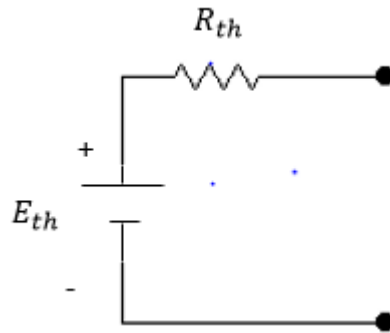


Figure 1.3 : Modèle équivalent de Thévenin

i. Générateur de tension réelle

Le symbole du générateur de tension réelle est donné sur la Fig 1.4.

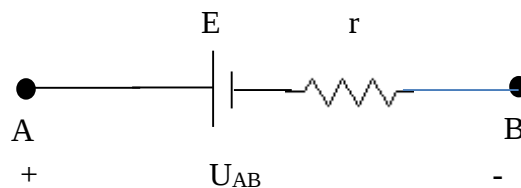


Figure 1.4 : Générateur de tension réelle [3]

E : f.é.m. (force électromotrice)

r : résistance interne du générateur

Il est utilisé pour l'alimentation d'usage général tel que les piles, les batteries, alimentation stabilisée bas de gamme.

$$U_{AB} = E - r.I$$

Plus l'intensité du courant appelé par le reste du circuit est grande, plus la tension délivrée par le générateur est faible.

La puissance fournie est : $P = U_{AB}.I = E.I - r.I^2$

Sa caractéristique est représentée par la Fig 1.5 suivante.

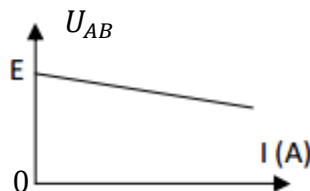


Figure 1.5 : Caractéristique du générateur de tension réelle

ii. Générateur de tension réglable

C'est une alimentation d'usage général.

Exemple : Alimentation électronique stabilisée à tension de sortie réglable

Identique que précédemment mais la f.e.m E est réglable. La figure 1.6 montre cette caractéristique.

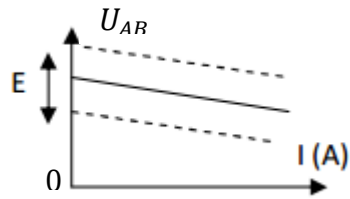


Figure 1.6 : Caractéristique du générateur de tension réglable

iii. Générateur de tension idéale

Le symbole du générateur de tension réelle est donné sur la Fig 1.7.

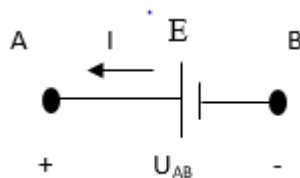


Figure 1.7 : Générateur de tension idéale

Exemple : une alimentation électronique stabilisée de qualité peut être considérée comme un générateur de tension idéale. [3]

$U_{AB} = E = \text{constante}$ quelle que soit l'intensité I du courant appelé par le reste du circuit.

(La f.é.m. E est parfois réglable)

La figure 1.8 nous montre la caractéristique du générateur de tension idéale.

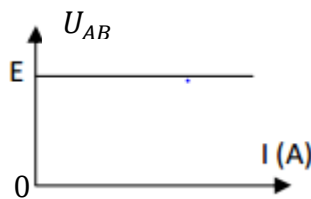


Figure 1.8 : Caractéristique du générateur de tension idéale

b. Générateur de tension alternative

Un générateur de tension alternative génère une tension qui évolue avec le temps c'est à dire ayant une alternance à la fois positive et négative. Comme la source de tension continue, il peut être réel ou idéal.

1.2.2. Générateur de courant constant

Il a la convention représentée sur la Fig 1.9.

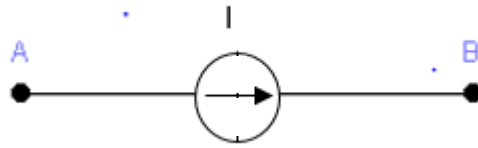


Figure 1.9 : Générateur de courant

Le générateur de courant constant est une alimentation utilisée lorsque l'on veut une intensité constante dans le circuit.

Exemple : Charge du condensateur à courant constant

Cette intensité peut être réglable ou non.

Le générateur adapte la tension U_{AB} à ses bornes en fonction de l'intensité qu'il doit délivrer dans le reste du circuit. Les générateurs réels peuvent être simplement modélisés par l'association d'un générateur de courant et d'une résistance branchée en parallèle. Un tel modèle s'appelle modèle de Norton (Voir ANEXE 1) d'un générateur réel. [4]

Le schéma équivalent d'un modèle de Norton et sa caractéristique sont donnés respectivement par la Fig 1.10 et la Fig 1.11.

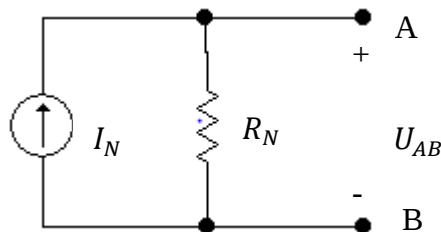


Figure 1.10 : Modèle équivalent de Norton

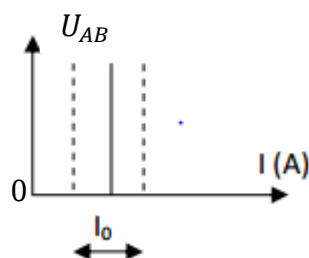


Figure 1.11 : Caractéristique du modèle équivalent de Norton

1.3. Le Générateur basse fréquence

Ce générateur est de type générateur de tension. Sa f.é.m. e est variable au cours du temps (sinusoïdale, triangulaire, en créneaux, etc) et son amplitude et sa fréquence sont réglables. La

résistance interne de ce générateur est souvent fixée par le constructeur à la valeur $r = 50 \, \Omega$ pour les GBF d'usage général.

Du fait de la résistance interne de $50 \, \Omega$, l'intensité, qui est donc également la puissance que peut délivrer le GBF, est faible. Il est nécessaire alors de faire suivre le GBF d'un amplificateur de puissance pour commander une charge de faible impédance (exemple : haut-parleur ; cordes de guitare pour la manipulation de spé sur les cordes vibrantes).

2. NOTION SUR LE SIGNAL

2.1. Introduction

Un signal est un message simplifié et généralement codé. Ici on parle du signal électrique qui est l'une des types des signaux, elles ont de formes indéterminées. En particuliers, certains signaux ont de représentation (forme) géométrique.

On distingue les signaux carrés, triangulaires et sinusoïdaux, rampes, etc. Ils sont caractérisés par leurs amplitudes et par la décomposition en série de Fourier.

L'amplitude maximale d'un signal est la valeur maximale qu'on peut avoir une grandeur. Exemple : Pour un signal sinusoïdal de valeur efficace A , son amplitude a pour expression :

$$A_m = A\sqrt{2}$$

Les séries de Fourier visent à décomposer une fonction périodique en une « somme infinie de fonctions trigonométriques » de fréquences dont chacune est un multiple d'une fréquence fondamentale. Dans un premier temps, on procède à l'analyse du « contenu en fréquences », appelé spectre de la fonction. Puis, selon les hypothèses caractérisant, la fonction et la cadre d'analyse choisie, divers théorèmes permettent de la recomposer. [5]

Ce dernier concerne alors toutes les fréquences. Ainsi, la sommation des composantes périodiques se présentera sous forme d'intégrale.

La transformée de Fourier classique reste actuellement un domaine de recherche active, en particulier la transformation de Fourier (Voir ANNEXE 2) sur des objets plus généraux comme les distributions tempérées. [6]

Par exemple, en imposant des contraintes à une distribution, elles peuvent se traduire directement sur sa transformée de Fourier. Ce théorème a pour conséquence immédiate que la transformée de Fourier d'une distribution non nulle à support compact n'est jamais à support compact. C'est une forme élémentaire des relations d'incertitudes de Heisenberg.

Il existe plusieurs types de signaux mais ici nous voyons ceux qui ont de forme géométrique.

2.2. Signal carré

Un signal carré est une sorte d'onde non-sinusoïdale. On trouve les signaux carrés dans les circuits de commutation numérique et dans les systèmes binaires logiques. Ils sont utilisés comme référence temporelle car leurs transitions rapides sont précieuses pour synchroniser des systèmes à des intervalles très précis. Un signal carré idéal alternerait régulièrement et instantanément entre deux niveaux. Il peut prendre deux valeurs : soit 1, soit 0. [7]

Le niveau bas correspond à la valeur logique 0 et 1 celle du niveau haut. [8]

À l'aide d'une série de Fourier, on peut décrire un signal carré idéal comme une série infinie de la forme :

$$\begin{aligned} x(t) &= \frac{4}{\pi} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\sin(2k+1)2\pi ft}{2k+1} \\ &= \frac{4}{\pi} \left[\sin(2\pi ft) + \frac{1}{3} \sin(6\pi ft) + \frac{1}{5} \sin(10\pi ft) + \dots \right] \end{aligned} \quad (1.2)$$

La représentation du signal rectangulaire est donnée par la Fig 1.12.

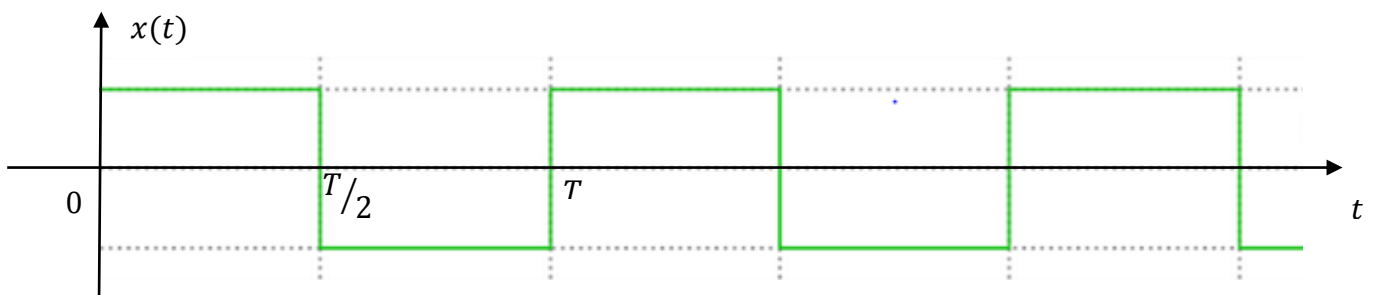


Figure 1.12 : Signal carré

Un signal carré idéal passe instantanément de sa valeur haute à sa valeur basse. En réalité, ceci n'arrive jamais en raison des limitations physiques du système qui le génère. La durée de montée du signal de son niveau bas à son niveau haut, et la durée de la descente sont respectivement appelés « temps de montée » et « temps de descente ». [8]

Si le système est trop amorti le signal n'atteindra jamais ses valeurs théoriques hautes et basses, et s'il n'est pas assez amorti, il oscillera entre les niveaux haut et bas avant de s'établir. Dans ces cas particuliers, les temps de montée et de descente sont mesurés entre des niveaux intermédiaires comme 5 % et 95 %, ou encore 10 % et 90 %. Il existe des formules qui permettent de déterminer la bande passante approximative d'un système donné à partir des temps de montée et de descente du signal.

Rapport cyclique d'un signal

Le rapport cyclique désigne, pour un phénomène périodique, le ratio entre la durée du phénomène sur une période et la durée de cette même période. Ce rapport varie de 0 à 1, en pourcentage de 0 % à 100 %. [9]

On parle souvent de rapport cyclique lorsqu'on a un signal rectangulaire (forme du signal en créneau).

$$\alpha = \frac{T_H}{T} \quad (1.3)$$

T_H : est le temps à l'état haut dans une période

T : la période du signal

Si la tension vaut U à l'état haut et 0 à l'état bas, on a $\langle U \rangle = \alpha U$.

2.3. Signal sinusoïdal

La tension instantanée fournie par le générateur est une fonction sinusoïdale du temps t . Un signal sinusoïdal est un signal (onde) dont l'amplitude, observée à un endroit précis, est une fonction sinusoïdale du temps.

- La fonction sinus est une fonction qui permet de calculer le sinus d'un angle à partir de la valeur de cet angle.
- Une sinusoïde est la forme que prend cette fonction.

Caractéristiques d'un signal sinusoïdal

Un signal sinusoïdal est caractérisé par son *amplitude* maximale et sa fréquence de la forme : $x(t) = A_m \sin(2\pi f t + \varphi)$ avec :

A_m : l'amplitude maximale du signal, appelée aussi valeur de crête,

$\omega t + \varphi$: phase instantanée en rad (avec $\omega = 2\pi f$)

ω : pulsation de la grandeur en rad.s^{-1}

φ : déphasage à l'origine en rad

La pulsation ω , la fréquence f et la période T sont liés par les relations :

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$$

$$T = \frac{1}{f} \text{ telle que } f : \text{la fréquence}$$

Le signal sinusoïdal a la représentation comme la Fig 1.13.

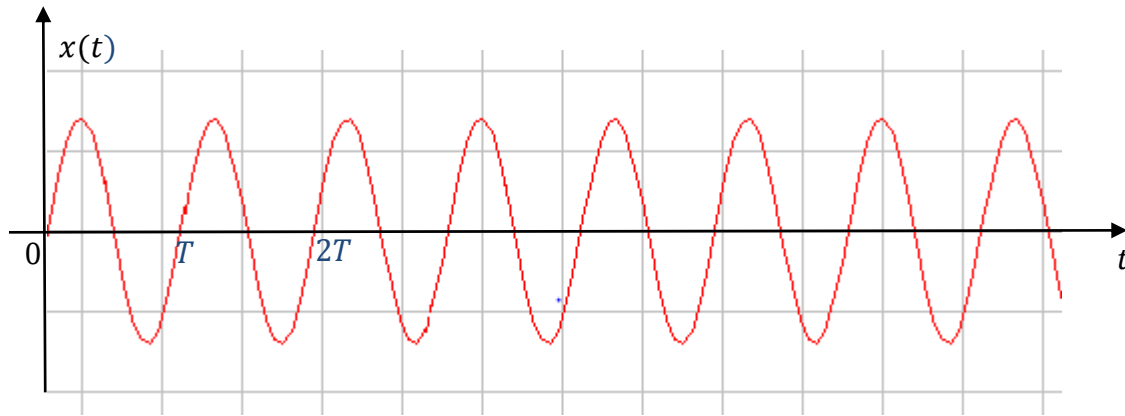


Figure 1.13 : Signal sinusoïdal

Lorsque l'on compare deux signaux $x_1(t)$ et $x_2(t)$ de même fréquence, il est nécessaire d'indiquer de combien de temps ils sont décalés. Les signaux sont « en phase » s'ils sont superposés, sinon il y a un déphasage. Les Fig 1.14 et Fig 1.15 nous montrent ces déphasages.

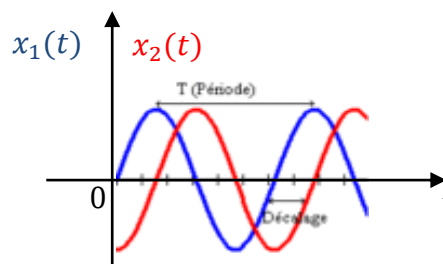


Figure 1.14 : Signaux déphasés de 90°, dits « en quadrature de phase »

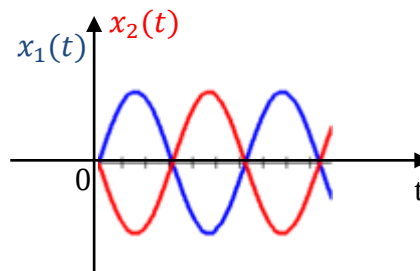


Figure 1.15 : Signaux déphasés de 180°, dits « en opposition de phase »

2.4. Signal triangulaire

Un signal triangulaire est une sorte d'onde non sinusoïdale que l'on rencontre le plus souvent en électronique ou dans le cas du traitement du signal. Il est périodique, linéaire par morceaux et continu. Tout comme le signal carré, il ne contient que des harmoniques impairs. [7]

$$x(t) = -\frac{8}{\pi^2} \sum_{k=0}^{\infty} (-1)^K \frac{\sin((2k+1)\omega t)}{(2k+1)^2} \quad (1.4)$$

$$= \frac{8}{\pi^2} \left[\sin(\omega t) - \frac{1}{9} \sin(3\omega t) + \frac{1}{25} \sin(5\omega t) - \dots \right]$$

La figure 1.16 nous montre la représentation du signal triangulaire.

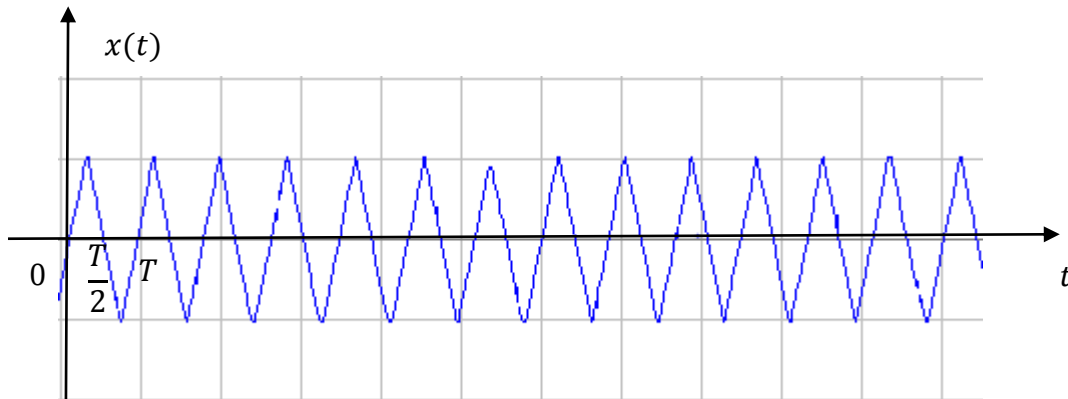


Figure 1.16 : Signal triangulaire

Caractéristiques du signal triangulaire

Le signal triangulaire est un signal dont la représentation schématique a une forme de triangle. Un de ces types est le signal en dent de scie. Il contient toutes les harmoniques entières contrairement au signal carré où ce dernier ne contient que les harmoniques impaires. Il est défini par la formule 1.5 ci-dessous :

$$x(t) = -\frac{2}{\pi} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\sin(2\pi k f t)}{k} \quad (1.5)$$

La figure 1.17 nous montre la représentation du signal dent de scie.

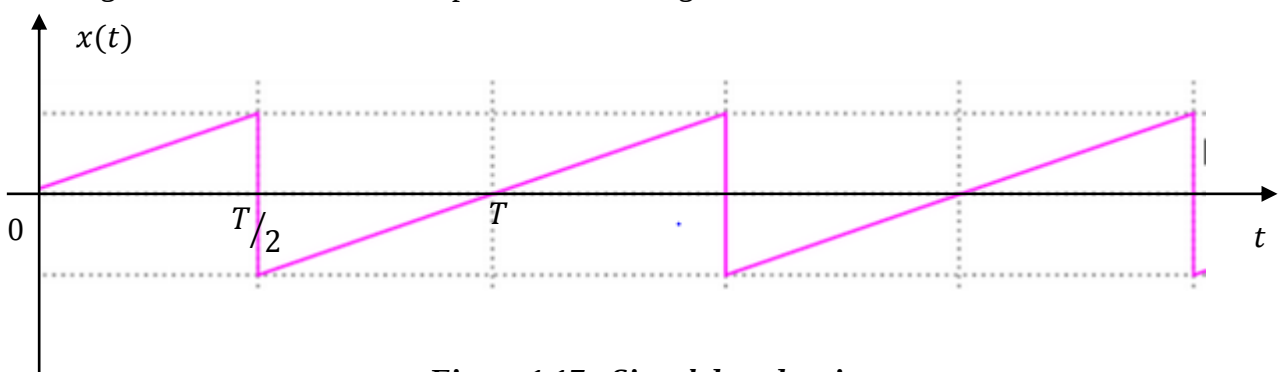


Figure 1.17 : Signal dent de scie

Le signal en dent de scie comme les ondes carrées et sinusoïdales, est une forme d'ondes utilisées pour la synthèse sonore. Il est aussi utilisé pour l'affichage sur des écrans de télévision ou des oscilloscopes.

3. NOTION DE FREQUENCE

La fréquence désigne la mesure du nombre de fois qu'un phénomène périodique se produit par unité de temps. La fréquence est donc l'inverse de la période d'un signal. La notion de fréquence est très importante surtout dans le domaine de la télécommunication. Elle s'applique aux phénomènes périodiques ou non. L'analyse spectrale transforme la description d'un phénomène en fonction du temps en description en fonction de la fréquence.

3.1. Très basse fréquence

La plage de régulation de fréquence s'étend de 3 à 30 Hz. La longueur d'onde correspondante varie de 1000 km à 100 km.

3.2. Basse Fréquence

L'appellation BF étant utilisée en acoustique pour désigner les signaux de fréquence 20 Hz à 30 kHz, on préférera le terme "audiofréquence" pour ces applications.

Le générateur de fonction que nous avons étudié et réalisé ici est un générateur de basse fréquence. Il est alimenté par une source de tension alternative c'est-à-dire une tension de valeur efficace 220 V avec la fréquence 50 ou 60 Hz. Il délivre à la sortie une tension alternative dont la fréquence correspondante peut être modifiable que dont on veut. On peut varier les fréquences à l'aide d'un potentiomètre.

3.3. Haute Fréquence

La Haute Fréquence désigne un spectre de fréquence en ondes électromagnétiques et acoustiques dont le sens est légèrement différent selon le domaine auquel il s'adresse. En électronique, les signaux de haute fréquence sont ceux dont la fréquence est au-delà de l'audiofréquence. En acoustique, le terme haute fréquence désigne les sons de 4 kHz à 20 kHz. En radiocommunication, la fréquence est comprise entre 3 MHz et 30 MHz, ce sont des ondes courtes ou ondes décamétriques c'est-à-dire leur longueur d'onde est comprise entre 10 et 100 mètres.

Le générateur fournit de tension et de courant nécessaire pour alimenter un circuit. Les signaux générés par le générateur basse fréquence sont modifiables leurs fréquences, leurs amplitudes et leur offset.

CHAPITRE II :

ETUDE THEORIQUE DU GENERATEUR BASSE FREQUENCE

1. GENERALITES SUR LES GENERATEURS BASSES FREQUENCES

1.1. Définition portant sur le GBF

Un Générateur Basse Fréquence ou GBF est un appareil permettant de générer des signaux de différentes formes (triangulaire, carrée, sinusoïdale), de différentes fréquences (de 1 Hz à 1 MHz environ), et de différentes amplitudes (jusqu'à 10 V environ).

Signaux de sortie : On rencontre les formes d'ondes conventionnelles suivantes : sinusoïdale, carrée, triangulaire, impulsion à rapport cyclique variable, signaux arbitraires. Les éléments constitutifs des générateurs sont conditionnés par les caractéristiques de l'onde générée et par les possibilités de modulation du signal de sortie. Ainsi les paramètres caractéristiques d'un signal généré sont la forme du signal, le domaine de fréquence, le domaine d'amplitude et la pureté.

On peut distinguer 3 grandes familles de générateurs dont chaque famille est composée de deux types de générateurs : analogiques et numériques.

- Générateurs de fonction.
- Générateurs d'impulsion qui a pour but de générer des impulsions répétitives généralement rectangulaires, dont la plupart des paramètres sont réglables.
- Synthétiseurs de signaux, génèrent un signal sinusoïdal très pur. On peut utiliser ce signal sinusoïdal ou réaliser des fonctions plus complexes à partir de ce dernier par modulation ou encore obtenir des formes d'ondes classiques (carrée, triangulaire) : générateur de fonction synthétisée.

1.2. Les générateurs de signaux arbitraires

Ils fournissent un signal de morphologie totalement arbitraire, c'est-à-dire ne répondant pas une fonction mathématique classique. En pratique, le signal de sortie peut être la reproduction d'un signal préalablement enregistré, peut être un signal créé point par point ou analytiquement par l'opérateur. La figure 2.1 représente le schéma fonctionnel des générateurs des signaux arbitraires.

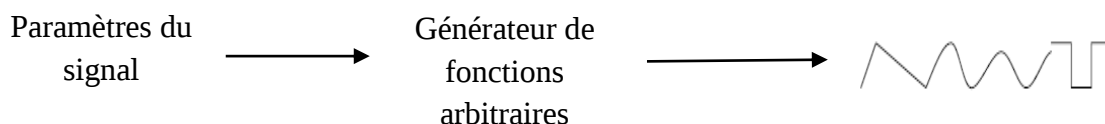


Figure 2.1 : Schéma fonctionnel des signaux arbitraires

1.3. Description du générateur basse fréquence

Les générateurs basses fréquences sont composés électroniquement de plusieurs circuits. Ils possèdent l'oscillateur comme circuit central. Le signal généré peut être modifié en forme, en fréquence, en amplitude, en décalage et rapport cyclique. Ces actions sont effectuées par des différents circuits annexes assurant chacun la variation d'un paramètre. Les circuits centraux (circuits oscillateurs) des anciens générateurs basses fréquences étaient à transistors et plus tard ils sont à amplificateur opérationnel.

Par la suite, des circuits intégrés spécialisés ont été développés et ont rendus leurs conceptions et dépannages assez simples. Les circuits intégrés les plus anciens sont l'ICL 8038 et l'XR-2206. En plus de l'oscillateur, ils intègrent plusieurs fonctions. Actuellement, comme beaucoup d'appareils électroniques, les générateurs de basses fréquences utilisent des CMS (Composants très petits et Montés à la Surface des circuits imprimés). La figure 2.2 nous donne le schéma fonctionnel du générateur basse fréquence.

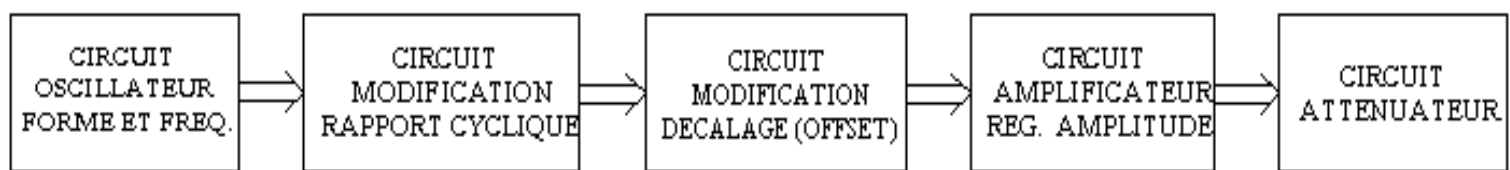


Figure 2.2: Schéma fonctionnel du générateur basse fréquence

2. DIFFERENTS MODELES DE GENERATEUR BASSE FREQUENCE

2.1. Générateur Basse Fréquence GF3 ET GF4

2.1.1. Caractéristiques du GF3 et GF4

Le GF3 et GF4 sont les GBF simples commercialisés par la société Jeulin. Ils ont en commun les caractéristiques suivantes : fréquence générée variant de 1 Hz à 110 KHz ; forme du signal : carrée, triangle, sinusoïdale ; décalage de la tension : + ou – 5 V ; tension de sortie maximale : 10 V ; atténuation de 1/10 et 1/100 ; impédance de sortie : environ 50 ohms

2.1.2. Constitution

Les GBF GF3 et GF4 utilisent le circuit intégré XR-2206CP de la société EXAR. Avec seulement quelques composants extérieurs, ce circuit fournit des signaux sinusoïdaux, triangulaires, carrés, de rampe et d'impulsions, très stables. Il possède des entrées en tension

permettant la modulation en fréquence et en amplitude du signal de sortie. Le circuit est composé de plusieurs blocs de fonctions ; un oscillateur commandé par tension (VCO, voltage controlled oscillator), un multiplicateur analogique et un générateur sinusoïdal (conformateur). Une entrée FSK (frequency shift keying, commande par décalage de fréquence) compatible TTL, permet de brancher deux résistances différentes génératrices de cadences indépendantes. Le rapport cyclique peut varier de 1 % à 99 %. Les circuits complémentaires sont à transistors.

Les circuits du GBF ont besoin de 4 tensions. Le +15 V et le -15 V sont théoriques. En effet, ces tensions dépendent entièrement de la variation de la tension EDF (210 V~ à 250 V~), de la qualité et de l'état, du transformateur, du pont de diodes et des condensateurs de filtrage. Cela a pour conséquence des tensions variant de 18 V à 24 V, heureusement presque symétriques. La tension de -12 V stabilisée par une diode Zener (0,4 W) varie dans des proportions moindres. La tension de +12 V est régulée par un RIT 7812 (Régulateur Intégré de Tension) qui est utilisé pour alimenter le circuit intégré XR2206CP. Celui-ci délivre trois tensions d'amplitude fixe mais de formes différentes (sinus, triangle, carrée) et de fréquence variable (les trois ont la même fréquence simultanément par sélection). Elles ont une amplitude d'environ 2 V le maximum, mais les signaux sinusoïdaux et triangulaires ont une composante continue de 6 V superposée (1/2 de U de la tension d'alimentation du circuit intégré). [9]

2.1.3. Schéma du GF3 et GF4

La figure 2.3 nous donne le schéma du générateur GF3 et GF4.

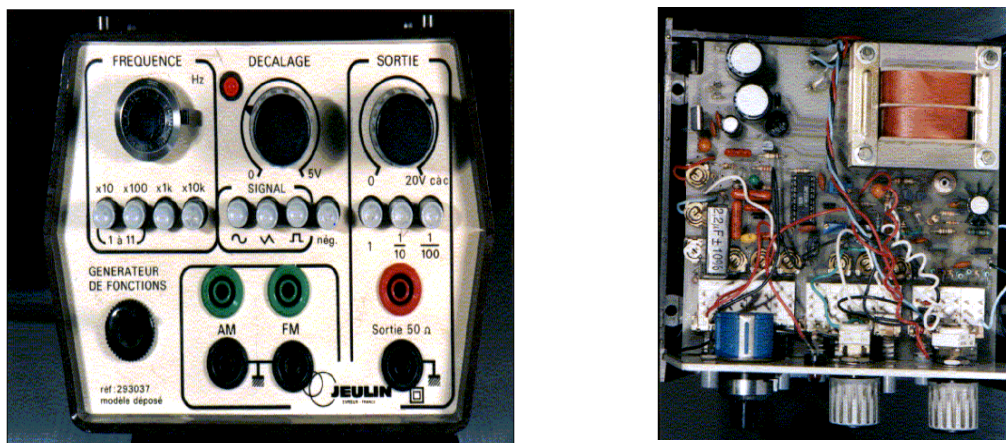


Figure 2.3 : Générateur basse fréquence GF3 et GF4

2.2. Le générateur de fonction GX239

Il a les caractéristiques suivantes : forme du signal à la sortie : sinusoïdale, carrée et triangulaire ; couverture variant de 0.2 Hz à 2 Mhz en sept décades; commande de fréquence se fait par un

potentiomètre, avec cadran gradué et index; rapport cyclique variable; décalage du signal en tension continue réglable ; inversion du signal; niveau de sortie réglable; entrée de commande de fréquence par tension; alimentation réseau alternatif 127 V ou 220 V. [10]

3. CONCEPTION D'UN GENERATEUR BASSE FREQUENCE

3.1. Alimentation stabilisée

3.1.1. Transformateur

Un transformateur électrique est un convertisseur permettant de modifier les valeurs de tension et d'intensité du courant délivrées par une source d'énergie électrique alternative, en un système de tension et de courant de valeurs différentes, mais de même fréquence et de même forme. Il effectue cette transformation avec un excellent rendement. [1]

3.1.2. Pont de diode

Un pont de diode appelé aussi pont de Graëtz ou redresseur double alternance, est un assemblage en pont de 4 diodes permettant de redresser le courant alternatif (tension) en courant continu (tension). Bien qu'il y ait d'autres montages pour redresser le courant (tension), ce montage reste le moyen le plus répandu pour réaliser cette fonction. Les diodes sont placées astucieusement afin que le courant d'entrée (tension) qui est tantôt positif et tantôt négatif ne passe que dans un seul sens dans les fils de sortie. Pour faire simple, le courant (tension) de sortie n'est autre que la valeur absolue du courant d'entrée (tension). [11]

Le schéma du montage électronique et le chronogramme du signal d'entrée et du signal de sortie sont montrés respectivement par la Fig 2.4, la Fig 2.5.a et la Fig 2.5.b.

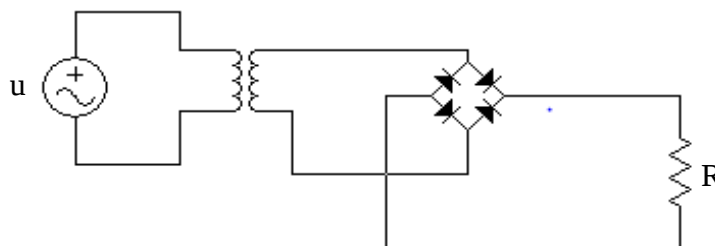
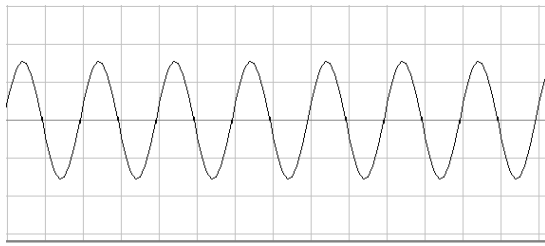
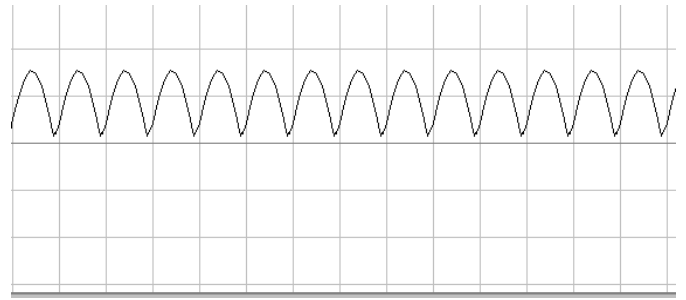


Figure 2.4 : Pont de diode

où u la tension sinusoïdale 220 V, 50 Hz.



a)



b)

Figure 2.5 : Redressement double alternance à pont de Graetz a : signal d'entrée ; b : signal de sortie [9]

3.1.3. Filtre

Un filtre est un circuit électronique qui réalise une opération de traitement du signal. Autrement dit, il atténue certaines composantes d'un signal et en laisse passer d'autres. Un exemple connu du grand public est l'égaliseur audio. [11]

Il existe deux types de filtre les plus couramment utilisés selon la technologie :

- **Filtre passif** : composé uniquement des composants passifs tels que le condensateur, la bobine, la résistance. Le gain de ce filtre ne peut pas excéder 1 c'est-à-dire ne dépasse pas 1.
- **Filtre actif** : en plus les composants passifs, il est composé au moins un composant actif : diode, transistor, amplificateur opérationnel, circuit intégré. Contraire au filtre passif, Le gain peut dépasser la valeur 1.

Mais concernant la fonction de transfert, on peut classer les filtres en quatre catégories.

a. Filtre passe bas

Il laissera toutes les fréquences inférieures à la fréquence de coupure. Les fréquences plus élevées que la fréquence de coupure seront atténuées. La Fig 2.6 représente le montage d'un filtre passe bas.

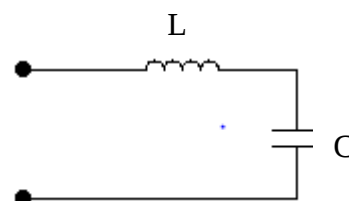
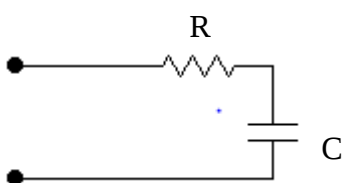


Figure 2.6 : Filtre passe-bas

$$\omega_c = \frac{1}{RC}$$

$$\omega_c = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (2.1)$$

ω_c : la fréquence de coupure

b. Filtre passe haut

Contrairement au filtre passe bas, il laissera passer les fréquences supérieures à la fréquence de coupure et atténuera les fréquences inférieures. Le schéma d'un filtre passe haut est donné par la Fig 2.7.

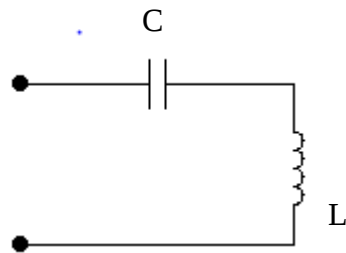


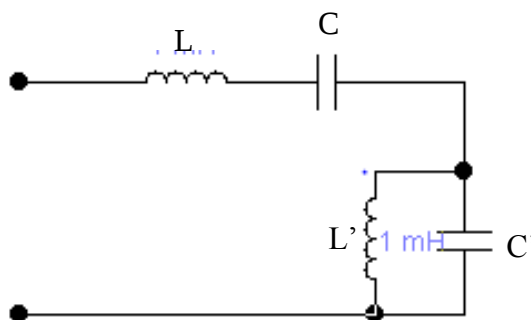
Figure 2.7 : Filtre passe-haut

$$\omega_c = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

(2.2)

c. Filtre passe bande

C'est une combinaison de filtre passe bas et d'un filtre passe haut qui sont montés en série. La Fig 2.8 nous donne le montage électronique du filtre passe bande.



$$B = f_{CS} - f_{Ci} \quad (2.3)$$

$$LC = L' C' = \frac{1}{\omega_0^2} \quad (2.4)$$

Où B : bande passante

f_{CS} : fréquence de coupure supérieure

f_{Ci} : fréquence de coupure inférieure

ω_0 : fréquence centrale

d. Filtre coupe bande

C'est une combinaison de filtre passe bas et d'un filtre passe haut mais ils sont en parallèle. Le schéma du filtre coupe bande est donné par la Fig 2.9.

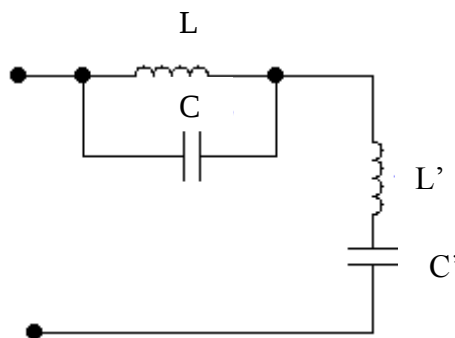


Figure 2.9 : Filtre coupe bande

$$B = f_{CS} - f_{Ci}$$

$$LC = L' C' = \frac{1}{\omega_0^2}$$

Ainsi, on peut concevoir les générateurs de fonctions à l'aide d'un intégrateur et d'un trigger ou des circuits intégrés. Le schéma synoptique est représenté sur la figure 2.10 suivante :

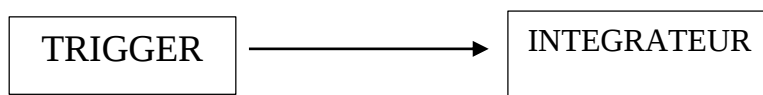


Figure 2.10 : Filtre coupe bande

3.2. Générateur de fonction piloté par un trigger

3.2.1. Définition d'un trigger

Une bascule Schmitt ou trigger de Schmitt est un circuit logique inventé en 1934 par Otto Schmitt. Elle est un comparateur à hystérésis.

C'est une bascule à trois entrées V, SB et SH et une sortie Q. Contrairement aux autres bascules, qui sont commandées en appliquant des signaux logiques à leurs entrées, la bascule de Schmitt est conçue pour être pilotée par une tension analogique. Elle peut prendre n'importe quelle valeur (dans l'intervalle 0 - V_{cc} afin de ne pas dégrader le circuit). La Fig 2.11 nous donne le schéma d'un trigger.

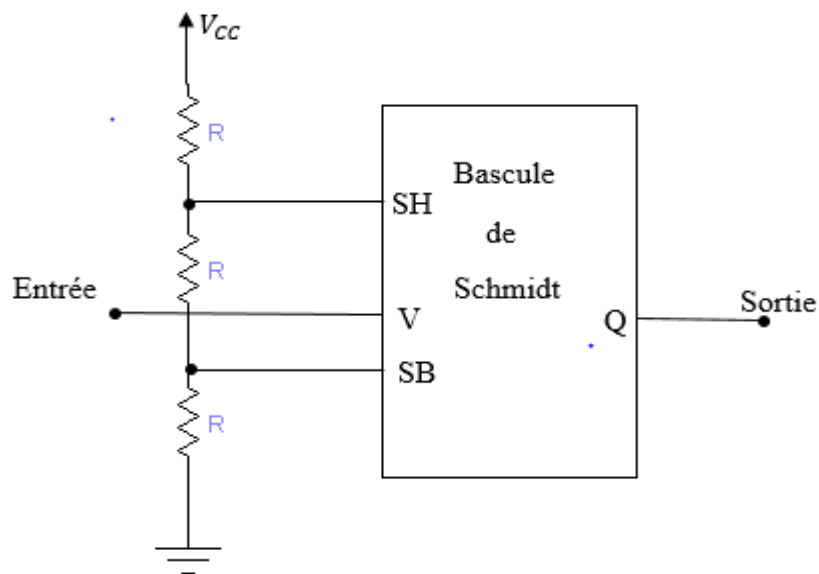


Figure 2.11 : Schéma d'un trigger

3.2.2. Principe

Les entrées SB et SH (seuil bas, seuil haut, ce dernier étant à un potentiel supérieur à SB) sont maintenues à des potentiels fixes. Ceci peut se faire par exemple grâce à un diviseur de tension composé de 3 résistances placées en série entre V_{cc} et la masse. SH et SB sont reliés aux points intermédiaires du diviseur.

3.2.3. Fonctionnement

Le trigger a le fonctionnement suivant :

- Supposons qu'au départ, V soit à 0 ; Q est alors à 0 ;
- Quand V augmente, Q reste à 0 jusqu'à ce que V dépasse SH ; à ce moment, Q passe à 1 ;
- Q reste à 1 jusqu'au moment où V devient inférieure à SB ; à ce moment, Q passe à 0 ;

- Q reste à 0 jusqu'à ce que V repasse au-dessus de SH.

3.2.4. Applications

La principale application de la bascule de Schmitt est la mise en forme de signaux analogiques pour les appliquer à des circuits logiques (par exemple une entrée de compteur). La bascule de Schmitt peut aussi être utilisée pour :

- Débarrasser un signal du bruit : il suffit que l'écart entre SH et SB soit supérieur à l'amplitude crête-à-crête du signal ;
- Réaliser des circuits de contrôle avec hystérésis : thermostats, interrupteurs crépusculaires, maintien du niveau dans une cuve, etc.
- Le trigger de Schmitt est l'ancêtre des générateurs de musique, miniaturisé dans les sonneries des montres électroniques, les sonneries des téléphones portables, les Game-Boy et autres jeux électroniques, les alarmes électroniques, les cartes de vœux parlantes, les boîtes à musique et horloges électroniques, etc. Le fameux bip des premiers ordinateurs dans les années 1980 était un signal rectangulaire.

3.2.5. Bascule astable à l'aide d'un amplificateur opérationnel pour avoir un signal carré

Un multivibrateur astable est un oscillateur délivrant en sortie une tension rectangulaire évoluant perpétuellement entre deux états instables : l'un haut, l'autre bas. Il est éventuellement possible de synchroniser la fonction d'un multivibrateur astable par un signal externe, synchronisation constante en général à permettre au montage d'osciller ou non selon le signal appliqué. [12]

La figure 2.12 et la Fig 2.13 représentent respectivement la réalisation d'une bascule astable et sa caractéristique de transfert.

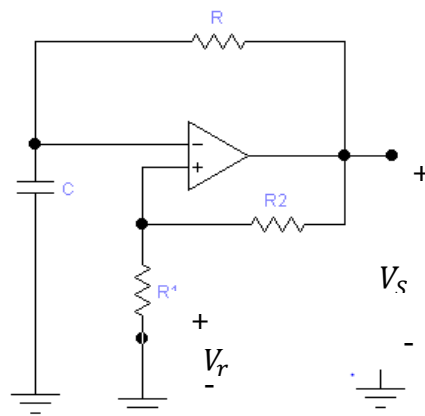


Figure 2.12 : Réalisation d'une bascule astable

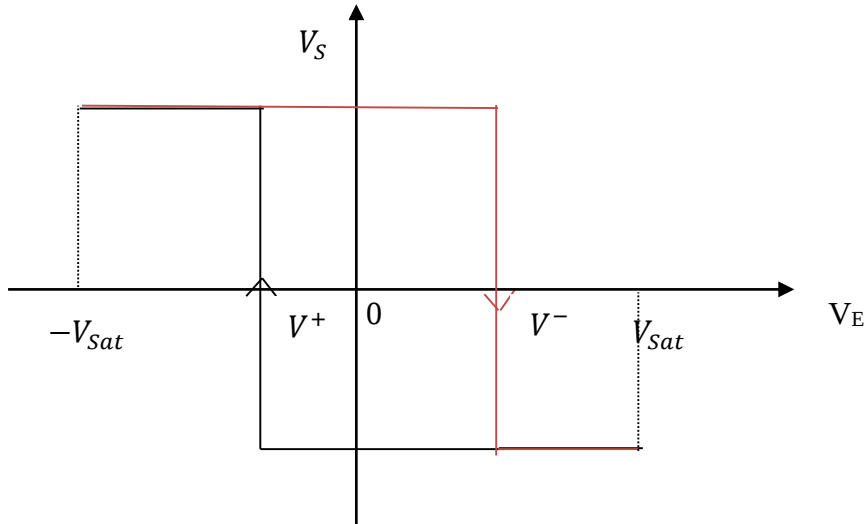


Figure 2.13 : Cyclogramme ou caractéristique de transfert d'une bascule astable

Notons que $V_{Sat}^- = -V_{Sat}^+ = -V_{Sat}$

$$V^+ = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_r + \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{Sat}^-$$

$$V^+ = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_r - \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{Sat} \quad (2.5)$$

$$V^- = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_r + \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{Sat} \quad (2.6)$$

Supposons qu'à $t = 0$, $V_C = 0$ implique $V_S = V_{Sat}$

$0 < t < t_0$: le condensateur se charge à travers R.

$$V_C(t) = V_{Sat} [1 - e^{-\frac{1}{RC} t}] \quad (2.7)$$

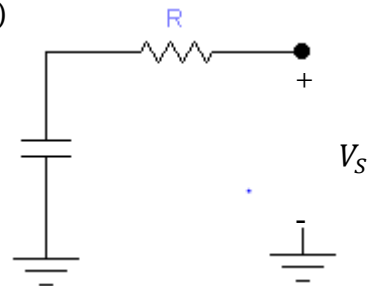
A $t = 0$, il y a basculement, $V_S = -V_{Sat}$

$t_0 < t < t_1$, le condensateur se décharge.

$$V_C(t) = (V^- + V_{Sat}) e^{-\frac{1}{RC} (t - t_0)} - V_{Sat} \quad (2.8)$$

Quand t tend vers $+\infty$, $V_C = -V_{Sat}$

Le signal rectangulaire à la sortie d'une bascule astable est donné par la Fig 2.14.



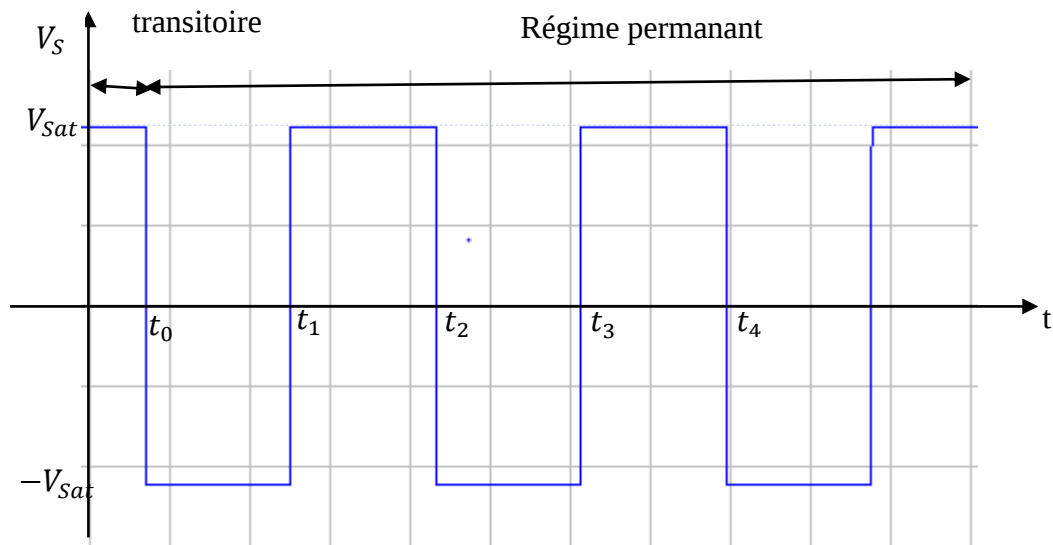


Figure 2.14 : Signal rectangulaire d'une bascule astable

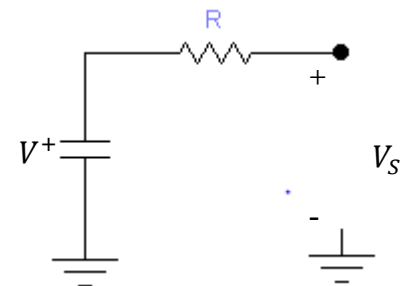
$t = t_1$; $V_C(t) = V^+$, il y a basculement et $V_S = V_{Sat}$

$t_1 < t < t_2$, le condensateur se charge.

$$V_C(t) = (V^+ - V_{Sat}) e^{-\frac{1}{RC} (t - t_1)} + V_{Sat} \quad (2.9)$$

Quand t tend vers $+\infty$, $V_C = V_{Sat}$

$t = t_2$; $V_C(t) = V^-$, il y a basculement et on a $V_S = -V_{Sat}$



$t_2 < t < t_3$, le condensateur se décharge.

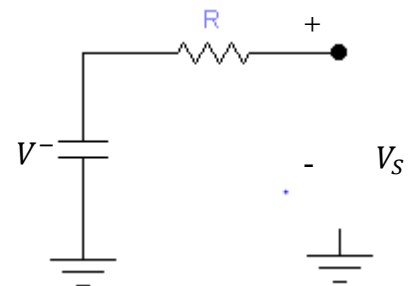
$$V_C(t) = (V^- + V_{Sat}) e^{-\frac{1}{RC} (t - t_2)} - V_{Sat} \quad (2.10)$$

Quand t tend vers $+\infty$, $V_C = -V_{Sat}$

$t = t_3$; $V_C(t) = V^+$, il y a basculement, $V_S = V_{Sat}$

$t_3 < t < t_4$, le condensateur se charge.

$t = t_4$; $V_C(t) = V^-$, il y a basculement $V_S = -V_{Sat}$



Et ainsi de suite

Notre montage délivre à la sortie une tension rectangulaire évoluant perpétuellement entre deux états l'un haut et l'autre bas.

La période de cette bascule est :

$$T = T_L + T_H = (t_1 - t_0) + (t_2 - t_1)$$

$$t = t_1 ; V_C(t) = V^+ = (V^- + V_{Sat}) e^{-\frac{1}{RC} T_L} - V_{Sat}$$

$$e^{-\frac{1}{RC} T_L} = \frac{V^+ + V_{Sat}}{V^- + V_{Sat}}$$

$$T_L = RC \ln \left(\frac{V^- + V_{Sat}}{V^+ + V_{Sat}} \right) \quad (2.11)$$

$$t = t_2 ; V_C(t) = V^- = (V^+ - V_{Sat}) e^{-\frac{1}{RC} T_H} + V_{Sat}$$

$$e^{-\frac{1}{RC} T_H} = \frac{V^- - V_{Sat}}{V^+ - V_{Sat}}$$

$$T_H = RC \ln \left(\frac{V^+ - V_{Sat}}{V^- - V_{Sat}} \right) \quad (2.12)$$

$$T = T_L + T_H = RC \left[\ln \left(\frac{V^- + V_{Sat}}{V^+ + V_{Sat}} \right) + \ln \left(\frac{V^+ - V_{Sat}}{V^- - V_{Sat}} \right) \right] \quad (2.13)$$

$$= RC \ln \left(\frac{(V^- + V_{Sat})(V^+ - V_{Sat})}{(V^+ + V_{Sat})(V^- - V_{Sat})} \right)$$

Posons

$$K_1 = \frac{V^- + V_{Sat}}{V^+ + V_{Sat}} = \frac{\frac{R_2}{R_1 + R_2} V_r + \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{Sat} + V_{Sat}}{\frac{R_2}{R_1 + R_2} V_r - \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{Sat} + V_{Sat}}$$

$$K_2 = \frac{V^+ - V_{Sat}}{V^- - V_{Sat}} = \frac{\frac{R_2}{R_1 + R_2} V_r - \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{Sat} - V_{Sat}}{\frac{R_2}{R_1 + R_2} V_r + \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{Sat} - V_{Sat}}$$

On a

$$T_L = RC \ln \left(\frac{1 + \frac{2R_1}{R_2} + \frac{V_r}{V_{Sat}}}{1 + \frac{V_r}{V_{Sat}}} \right) \quad (2.14)$$

$$T_H = RC \ln \left(\frac{1 + \frac{2R_1}{R_2} - \frac{V_r}{V_{Sat}}}{1 - \frac{V_r}{V_{Sat}}} \right) \quad (2.15)$$

Ici on a $V_r = 0 ; T_L = T_H = RC \ln(1 + \frac{2R_1}{R_2})$, d'où

$$T = 2RC \ln \left(1 + \frac{2R_1}{R_2} \right) \quad (2.16)$$

3.3. Intégrateur

3.3.1. Les amplificateurs opérationnels

Notons que pour étudier le fonctionnement d'un circuit portant des amplificateurs opérationnels, nous avons imaginé un composant idéal appelé amplificateur opérationnel parfait. Ce composant fictif permet de déterminer approximativement mais rapidement les performances des montages.

Un amplificateur opérationnel parfait possède les trois propriétés suivantes :

- Son amplification A_0 est infinie quel que soit la fréquence du fonctionnement.
- Sa résistance d'entrée c'est-à-dire entre V^+ et V^- est infinie.
- Sa résistance de sortie est nulle.

Il faut ajouter qu'un amplificateur opérationnel parfait présente une tension et un courant de décalage nul.

3.3.2. Fonctionnement du montage

En électronique, un circuit intégrateur est un composant qui délivre en sortie un signal proportionnel à l'intégrale temporelle du signal d'entrée. [13]

La figure 2.15 nous montre le fonctionnement d'un intégrateur.

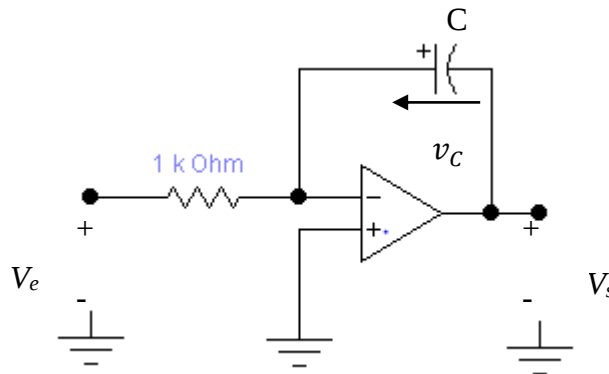


Figure 2.15 : Fonctionnement d'un intégrateur

Si l'amplificateur opérationnel n'est pas saturé, on a $V^+ = V^-$

Pour $v_C = 0$ et pour V_e rendue positive, on a $i_C = \frac{V_e - 0}{R}$ et $\frac{i_C}{C} = \frac{dv_C}{dt}$

$$\frac{dV_S}{C} = -\frac{dv_C}{dt} \text{ on obtient } \frac{dV_S}{dt} = -\frac{V_e}{RC}$$

A $t = 0$, $v_C = 0$ implique $V_S = 0$

$$t > 0, \quad V_S = -\frac{1}{RC} \int_0^t V_e dt \quad (2.16)$$

Donc on a comme signal de sortie l'intégration du signal d'entrée avec un gain négatif $-\frac{1}{RC}$.

3.4. Oscillateurs sinusoïdaux

Les oscillateurs quasi-sinusoïdaux sont des systèmes qui doivent sortir un signal qui approche le plus possible une sinusoïde (on verra que leur structure impose l'apparition d'harmoniques dont on doit limiter l'influence). Cette sinusoïde doit, par ailleurs, être de fréquence la plus stable possible. Nous allons par la suite étudier l'exemple très classique de l'oscillateur à pont de Wien en essayant de bien détailler l'ensemble des aspects du problème (structure, qualité de la sortie). Cette structure, de par ses performances modestes, n'a aucun intérêt en pratique. En revanche, son étude permet de soulever bon nombre de problèmes communs à l'ensemble des oscillateurs quasi-sinusoïdaux. C'est pourquoi il s'agit d'un exemple particulièrement adapté au montage d'agrégation sur les oscillateurs.

3.4.1. Généralités sur les oscillateurs quasi-sinusoïdaux

a. Structure des oscillateurs quasi-sinusoïdaux à boucle de réaction

Un oscillateur quasi-sinusoïdal doit comporter une cellule résonante. Cependant cette dernière comportant forcément des éléments dissipatifs, il va falloir apporter de l'énergie pour maintenir le système en oscillation. Le signal en sortie du quadripôle va donc être amplifié avant d'être à nouveau injecté dans le quadripôle résonant (ce sont donc les sources de polarisation de l'amplificateur qui apportent l'énergie nécessaire pour obtenir une sortie sinusoïdale; l'oscillateur réalise une conversion continu-alternatif). La structure des oscillateurs quasi-sinusoïdaux à boucle de réaction est donnée par la Fig 2.16. [14]

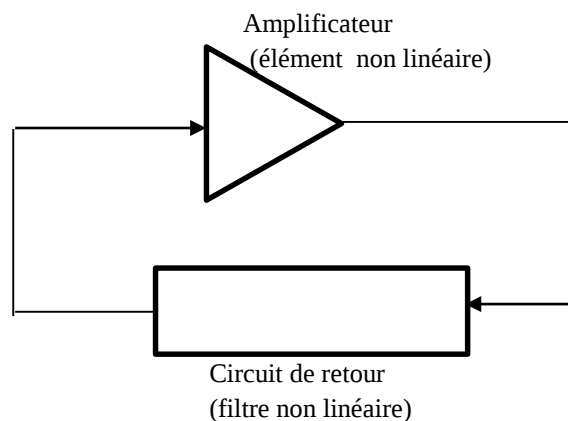


Figure 2.16 : Structure des oscillateurs quasi-sinusoïdaux à boucle de réaction

En théorie, un système de ce type peut rester en équilibre instable. Cependant, en pratique, la moindre perturbation électrique va pousser le système hors de son état d'équilibre et les oscillations vont démarrer.

b. Etude des oscillateurs quasi-sinusoïdaux

Dans l'étude d'un oscillateur, il va falloir distinguer deux étapes de fonctionnement bien distinctes.

La première est un état transitoire : c'est le démarrage des oscillations. Les signaux sont alors suffisamment faibles pour que l'amplificateur se comporte de façon linéaire. L'étude lors de cette phase se mène comme celle d'un système bouclé linéaire classique. On va pouvoir notamment déterminer dans quelles conditions l'ensemble étudié va bien pouvoir osciller.

La seconde est un état permanent : c'est le régime d'oscillation. Lors du démarrage, le signal oscillant va croître. Cependant, au-delà d'une certaine valeur de signal en entrée, l'amplificateur va se comporter de façon non-linéaire (saturation d'un amplificateur opérationnel par exemple). Ce phénomène va stopper la croissance du signal oscillant et provoquer l'apparition d'harmoniques (on suppose qu'il n'existe pas de système automatique de contrôle de gain permettant de rester en régime linéaire).

c. Etude théorique de l'oscillateur à pont de Wien

Nous allons désormais nous intéresser au cas particulier de l'oscillateur à pont de Wien. Cet oscillateur, quoi que peu performant va nous permettre d'appliquer une méthode d'approche générale pour les oscillateurs de ce type. Nous allons tout d'abord faire apparaître la structure générale d'un oscillateur quasi-sinusoïdal en identifiant l'amplificateur et le filtre sélectif. Ceci étant fait, nous verrons la condition à vérifier pour que les oscillations apparaissent. Nous pourrons alors calculer les principales grandeurs attendues (fréquence et amplitude des oscillations notamment).

3.4.2. Structure de l'oscillateur à pont de Wien- Identification des différents éléments

La figure 2.17 nous montre la structure de l'oscillateur à pont de Wien.

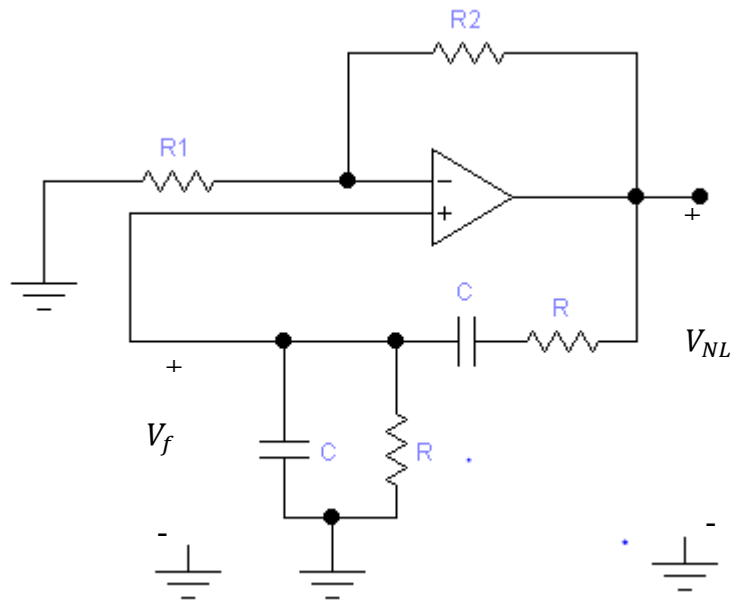


Figure 2.17 : Structure de l'oscillateur à pont de Wien

On va essayer de se ramener à une symbolique de système bouclé classique (sauf qu'ici, on travaille à entrée nulle puisque l'on étudie un oscillateur...). Il est donné par la Fig 2.18.

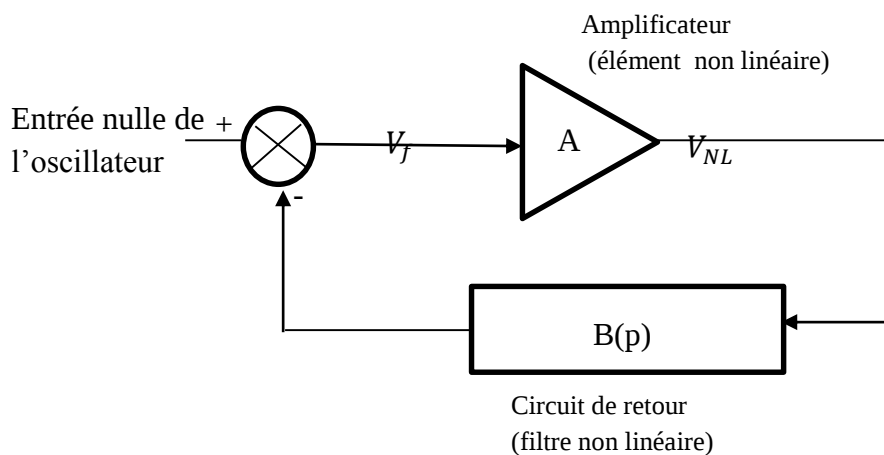


Figure 2.18 : Système bouclé classique

Dans sa zone de fonctionnement linéaire, l'amplificateur a un gain $A=1+R2/R1$ (pour l'étude du démarrage, ce gain sera suffisant). Cependant la tension de sortie de l'amplificateur est limitée à la plage $[-V_{cc}; +V_{cc}]$. Sa caractéristique entrée-sortie, si on suppose l'amplificateur opérationnel parfait (excepté vis à vis de la saturation) est représentée par la Fig 2.19.

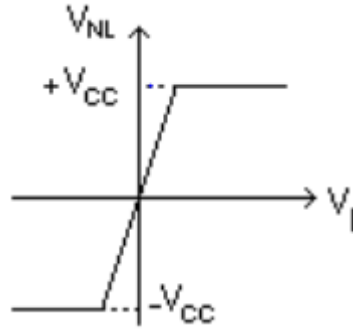


Figure 2.19 : Caractéristique d'entrée-sortie

Le filtre de retour est un filtre passe bande dont la fonction de transfert est la suivante

$$B(p) = -\frac{V_f}{V_{NL}} = -\frac{\frac{R}{1+RCp}}{\frac{R}{1+RCp} + R + \frac{1}{Cp}} = -\frac{R}{R + R + R^2Cp + R + \frac{1}{Cp}} = -\frac{1}{3 + RCp + \frac{1}{RCp}}$$

$$B(p) = -\frac{\frac{1}{3}}{1 + Q\left(\frac{p}{\omega_0} + \frac{\omega_0}{p}\right)} \quad (2.17)$$

Si on pose $\omega_0 = 1/RC$ et $Q = 1/3$

3.4.3. Calcul des caractéristiques de sortie

a. Le démarrage des oscillations

Nous verrons en automatique qu'un système bouclé du type décrit dans notre exemple est instable lorsque l'un des pôles de sa fonction de transfert en boucle fermée a une partie réelle positive. Ces pôles sont les solutions de l'équation $A.B(p) = -1$.

Ils peuvent être calculés en résolvant l'équation

$$p^2 + \frac{\omega_0}{Q}\left(1 - \frac{A}{3}\right)p + \omega_0^2 = 0 \quad (2.18)$$

Le calcul montre que le montage est instable pour $A > 3$ (on peut même montrer que le démarrage sera pseudo-oscillant pour $3 < A < 5$ alors qu'il sera exponentiel croissant pour $A > 5$).

b. Le régime permanent: fréquence et amplitude des oscillations

En régime permanent, la non linéarité de l'amplificateur se fait sentir et il n'est plus possible de raisonner aussi simplement que lors du démarrage. On va faire l'hypothèse dite du premier harmonique. Pour une amplitude de signal en entrée de l'amplificateur donnée, on regarde l'allure

de la sortie (elle est affectée par la non-linéarité). De la sortie distordue, on extrait le premier harmonique. La non linéarité est alors modélisée par un gain linéaire $\bar{N}$ équivalent, rapport du premier harmonique de la sortie sur l'entrée (ce gain remplace le gain A de l'étude du démarrage).

Une fois $\bar{N}$ calculé, la condition d'oscillation est donnée par : $\bar{N}.B(j\omega) = -1$.

La résolution de cette équation complexe nous donnera la fréquence des oscillations ainsi que leur amplitude.

Dans le cas de notre exemple, nous allons calculer $\bar{N}$.

Nous allons supposer que $V_f(t) = V \sin(\omega t)$ (où V et ω sont les inconnues que nous recherchons).

$V_{NL}(t)$ vaut $A.V_f(t)$ tant que $V_f(t)$ est inférieure, en valeur absolue, à V_{CC}/A . Sinon elle vaut $+V_{CC}$ ou $-V_{CC}$. La Fig 2.20 montre les caractéristiques de V_f et V_{NL} .

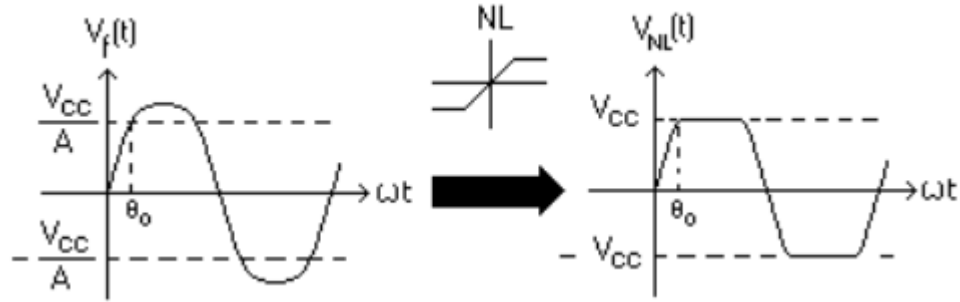


Figure 2.20 : Caractéristiques de V_f et V_{NL}

On constate que la non-linéarité n'introduit pas de déphasage (il n'y a pas d'hystérésis) ce qui signifie que le gain équivalent $\bar{N}$ sera réel. L'amplitude du premier harmonique de V_{NL} est notée V_{NL1} et elle vaut

$$V_{NL1} = \frac{2}{T} \int_0^T V_{NL}(t) \cdot \sin(\omega t) dt = \frac{4}{\pi} \int_0^{\frac{\pi}{2}} V_{NL}(\theta) \sin(\theta) d\theta \quad (2.19)$$

$$= \frac{4}{\pi} \left[\int_0^{\theta_0} A \cdot V \sin^2 \theta d\theta + \int_{\theta_0}^{\frac{\pi}{2}} V_{CC} \sin \theta d\theta \right] \quad \text{Sachant que } V_{CC} = A \cdot V \cdot \sin \theta, \text{ on trouve}$$

$$\bar{N} = \frac{2A}{\pi} \left(\theta_0 + \frac{\sin(2\theta_0)}{2} \right) \quad (2.20)$$

La condition $\bar{N}.B(j\omega) = -1$ nous donne que $\omega = \omega_0$ et que $\bar{N} = \frac{2A}{\pi} \left(\theta_0 + \frac{\sin(2\theta_0)}{2} \right) = 3$

Ce qui permet de trouver V .

Remarque : L'hypothèse du premier harmonique sera d'autant plus justifiée que les harmoniques ont peu d'incidence sur l'entrée de l'amplificateur, c'est à dire que le filtre de retour est sélectif.

3.4.4. Effet de la non linéarité sur la stabilité en fréquence

La relation $\bar{N} \cdot B(j\omega) = -1$ permet d'écrire $Arg(\bar{N}) + Arg(B(j\omega)) = \pi$ ce qui conduit à la fréquence d'oscillation. En différenciant la dernière relation, on trouve

$$\delta\theta + d\varphi = 0 \text{ (où } \varphi \text{ argument de B) soit } \delta\theta = -\left(\frac{\partial\varphi}{\partial\omega}\right)\omega_0 d\omega$$

$$\text{On peut alors écrire que } \frac{\partial\omega}{\partial\theta} \approx \frac{-1}{\left(\frac{\partial\varphi}{\partial\omega}\right)\omega_0}$$

Dans le cas du pont de Wien, on a

$$B(p) = \frac{-\frac{1}{3}}{1+Q\left(\frac{p}{\omega_0}+\frac{\omega_0}{p}\right)} \approx \frac{-\frac{1}{3}}{1+2jQ\frac{\delta\omega}{\omega_0}} \quad (2.21)$$

$$\text{Soit } \varphi \approx -Arc \tan \left(2 \cdot Q \cdot \frac{\delta\omega}{\omega_0} \right) \quad (2.22)$$

$$\text{et donc } \frac{\delta\omega}{\delta\theta} \approx \frac{\omega_0}{2 \cdot Q} \quad (2.23)$$

Le fait que le filtre de retour ait un fort coefficient de qualité permet de rendre l'oscillateur moins sensible aux éventuelles variations d'état de l'amplificateur (si les variations donnent lieu une variation de phase de ce dernier).

3.4.5. Observations et mesures à effectuer

a. Caractérisation des éléments de l'oscillateur (étude des éléments séparés)

La non linéarité est constituée par un amplificateur opérationnel monté en amplificateur non inverseur (on choisira la valeur maximale de gain (cas le plus défavorable) que l'on sera susceptible d'appliquer par la suite; en gros prendre 5 ; pourquoi au fait?). Pour bien la caractériser, nous allons nous intéresser à la saturation (effet non linéaire), à la bande passante de l'ampli (effet linéaire) ainsi qu'à l'effet du slew-rate. En continu (ou éventuellement à une fréquence assez basse), on relève la caractéristique $V_s(V_e)$ pour des valeurs croissantes de $V_{e\max}$. On mesure alors la pente de la zone linéaire et les valeurs des saturations. On fait alors augmenter la fréquence et on relève jusqu'à quelle fréquence la caractéristique précédente est conservée (le produit gain bande et le slew-rate vont alors entrer en jeux). Cette fréquence devra être prise en compte dans la conception de notre oscillateur. [14]

Le filtre de retour est lui aussi caractérisé. On mesurera notamment la fréquence centrale f_0 (avec la phase!) ainsi que le gain en fonction de la fréquence (prendre assez de points) et on essaiera de faire une estimation du facteur de qualité avec un fittage sur IGOR (comparer le résultat

du fittage avec le modèle théorique obtenu par une mesure des valeurs des composants, discussion sur les erreurs systématiques introduites par nos multimètres).

b. Etude du démarrage des oscillations

On va déjà chercher à vérifier la valeur de la résistance (et donc du gain de l'ampli) qui permet d'observer le démarrage des oscillations et de confronter à la valeur attendue (il y aura certainement des erreurs systématiques qui traînent). Plutôt que de mesurer la résistance, on pourra chercher à visualiser en XY l'allure de la réponse de la non linéarité et à mesurer sa pente A dans la zone linéaire.

On va ensuite observer le démarrage des oscillations par une observation en mono-coup à l'oscilloscope car on observe un régime transitoire (au fait, pourquoi ça démarre et pourquoi l'amplitude se stabilise-t-elle?). On pourra travailler avec un gain A légèrement supérieur à 3 pour avoir un démarrage pseudo-oscillant puis augmenter le gain jusqu'à une valeur légèrement supérieure à 5 afin d'observer un démarrage exponentiel. On en profitera pour faire une mesure de la pseudo-période. On peut également jeter un coup d'œil dans le plan de phase ($X = V_s$, $Y = dV_s/dt$).

c. Etude de la sortie en régime établi

On va mesurer la fréquence et l'amplitude des oscillations pour différentes valeurs du gain de l'amplificateur. On va ensuite confronter ces mesures aux valeurs théoriques attendues avec un calcul utilisant le modèle du premier harmonique.

Pour juger de la qualité du signal, on doit alors dans un premier temps s'intéresser à l'allure du spectre obtenu notamment à l'amplitude relative des harmoniques de rang supérieur à 1. On peut notamment s'intéresser à l'incidence du gain de l'amplificateur sur les harmoniques.

La qualité de l'oscillateur dépend également de sa stabilité en fréquence. Pour cela on peut effectuer des mesures de fréquence pour différents états de la non linéarité (par exemple, faire varier la tension de polarisation de l'amplificateur opérationnel, même si cela risque d'avoir plus d'effet sur l'amplitude que sur la fréquence des oscillations). Il faut savoir que les oscillateurs ayant un filtre de retour avec un facteur de qualité médiocre (c'est le cas ici) sont plus sensibles aux variations de la non linéarité et constituent donc des oscillateurs de mauvaise qualité. C'est pourquoi on privilégie les oscillateurs avec filtre de retour très sélectif (par exemple avec un quartz). Un exemple d'oscillateur à quartz sera présenté dans une fiche ultérieure, faire débiter l'oscillateur sur une résistance de sortie (quelques k Ω) et mesurer la fréquence d'oscillation.

Remarque pratique

On cherchera à utiliser deux résistances et deux capacités assez proches pour faire le filtre de retour. On pourra notamment utiliser des résistances de précision et obtenir la valeur des capacités C par la mesure à l'oscilloscope du temps de réponse à 63% du circuit RC formé par une résistance de précision connue précisément et par C .

CHAPITRE III :

ETUDE PRATIQUE D'UN GBF

1. PRESENTATION DES COMPOSANTS

Principalement, les matériels de laboratoire sont les premiers équipements indispensables. Ce sont les multimètres et les oscilloscopes. La figure 3.1 représente le fonctionnement d'utilisation d'un GBF.



Figure 3.1 : Fonctionnement d'utilisation d'un GBF

Le principal défi fut de traduire nos concepts théoriques en réalité industrielle. À partir des schémas de base des modules intégrateur, dérivateur, nous avons réalisé les montages sur des logiciels professionnels de CAO (Conception Assisté par Ordinateur) PROTEUS, Electronics Workbench. Ceci nous a permis, d'une part de vérifier le fonctionnement de nos montages, et d'autre part de réaliser des schémas industriels lisibles et adaptés aux normes internationales.

Afin de faciliter la conception de notre GBF, nous avons préféré décomposer l'ensemble du système en différents modules présentés ci-dessous.

1.1. Module de stabilisation

La source de tension à l'entrée est une tension sinusoïdale de valeur efficace 220 V et de fréquence 50 Hz. Cette partie du système a pour but de convertir le signal fourni par le réseau EDF, sinusoïdal de fréquence 50 Hz avec une tension de 230 V en un signal continu de 12 V.

1.1.1. Transformateur

Le transformateur utilisé dans cette réalisation est un transformateur abaisseur de tension. Il possède donc un rapport de transformation inférieur à 1.

1.1.2. Redresseur

On utilise un pont de diode afin de redresser la tension alternative sinusoïdale en tension continue.

1.1.3. Stabilisateur

En raison de sécurité, la tension a besoin de stabiliser c'est-à-dire une tension continue constante de 12 V. Ce module comporte deux sorties : l'une de puissance afin d'alimenter tous les composants actifs, l'autre correspond au signal continu, variable en tension qui sera proposé en sortie.

1.2. Module oscilateur

Il est le module le plus important car ce module est le « cœur » du générateur. A l'entrée, il ne reçoit que l'alimentation pour les amplificateurs opérationnels et renvoie en sortie les signaux créneaux.

1.2.1. Sélecteur de gamme de fréquence

Il est composé uniquement de condensateurs de différentes valeurs pour un multiplicateur de 10 et 1.

1.2.2. Réglage de fréquence

Il joue le rôle de régler la fréquence que nous voulons. Le réglage de fréquence se fait à l'aide d'un potentiomètre (résistance variable). Ici nous utilisons un potentiomètre de 10 k Ω pour la variation de la fréquence.

1.2.3. Montage d'une bascule astable

Ce montage fournit à la sortie un signal rectangulaire réglable en fréquence et en amplitude.

1.2.4. Montage intégrateur

Il comprend un retro-bouclage d'un montage comparateur sur un montage intégrateur. Il y a apparition d'oscillations et on obtient à la sortie des signaux triangulaires.

1.2.5. Montage d'oscillateur sinusoïdal

Il permet d'obtenir des signaux sinusoïdaux réglables en amplitude et en fréquence.

1.3. Module d'amplification

Ce sous-système réceptionne le signal choisi par l'utilisateur, l'amplifie en puissance et module sa tension.

1.3.1. Montage amplificateur

Il amplifie la tension de sortie grâce à la tension de puissance obtenue par le module de stabilisation.

Réglage offset : l'offset définit le décalage d'un signal par rapport à la référence. On choisit souvent la valeur de la référence l'origine du repère c'est-à-dire 0 V.

Additionneur inverseur : formé d'un amplificateur opérationnel du type $\mu A741$.

Protection de la sortie : c'est le dernier module qui constitue le traitement du signal. En raison de sécurité, on utilise deux diodes de type 1N4007.

1.3.2. Montage multiplicateur

Ce montage consiste à multiplier la tension de sortie par un coefficient α .

1.4. Oscilloscope

Pour visualiser les formes des signaux à la sortie, on utilise un oscilloscope analogique.

2. SIMULATION SUR ORDINATEUR DU GBF

Avec le logiciel de simulation Electronics Workbench, nous allons visualiser le signal de sortie de notre GBF avec les valeurs des composants correspondants.

2.1. Sélecteur de gamme de fréquence

On a utilisé deux condensateurs de capacité $3.3\mu F$, $33\mu F$ pour avoir un multiplicateur de fréquence par 10 et 1.

2.2. Réglage de fréquence

Nous allons varier la fréquence de sortie avec un potentiomètre de $100\text{ k}\Omega$.

2.3. Réglage d'amplitude

Ce bloc permet d'augmenter ou de diminuer l'amplitude du signal à la sortie, utilisant un potentiomètre. Plus la valeur de ce potentiomètre augmente, plus l'amplitude du signal augmente. Dans notre GBF, il a pour valeur de 100 k Ω .

2.4. Réglage offset du signal en créneaux

L'offset définit le décalage d'un signal par rapport à la référence. On choisit souvent la valeur de la référence l'origine du repère c'est-à-dire 0 V. Ici, dans notre GBF, il se fait par un potentiomètre de 100 k Ω .

2.5. Additionneur inverseur

Il est formé d'un amplificateur opérationnel du type $\mu A741$.

2.6. Protection de la sortie

Elle est le dernier module qui constitue le traitement du signal. En raison de sécurité, on utilise deux diodes de type 1N4007.

La figure 3.2 représente la forme des signaux à la sortie du trigger et de l'intégrateur et le schéma de conception de notre GBF est représenté par la Fig 3.3.

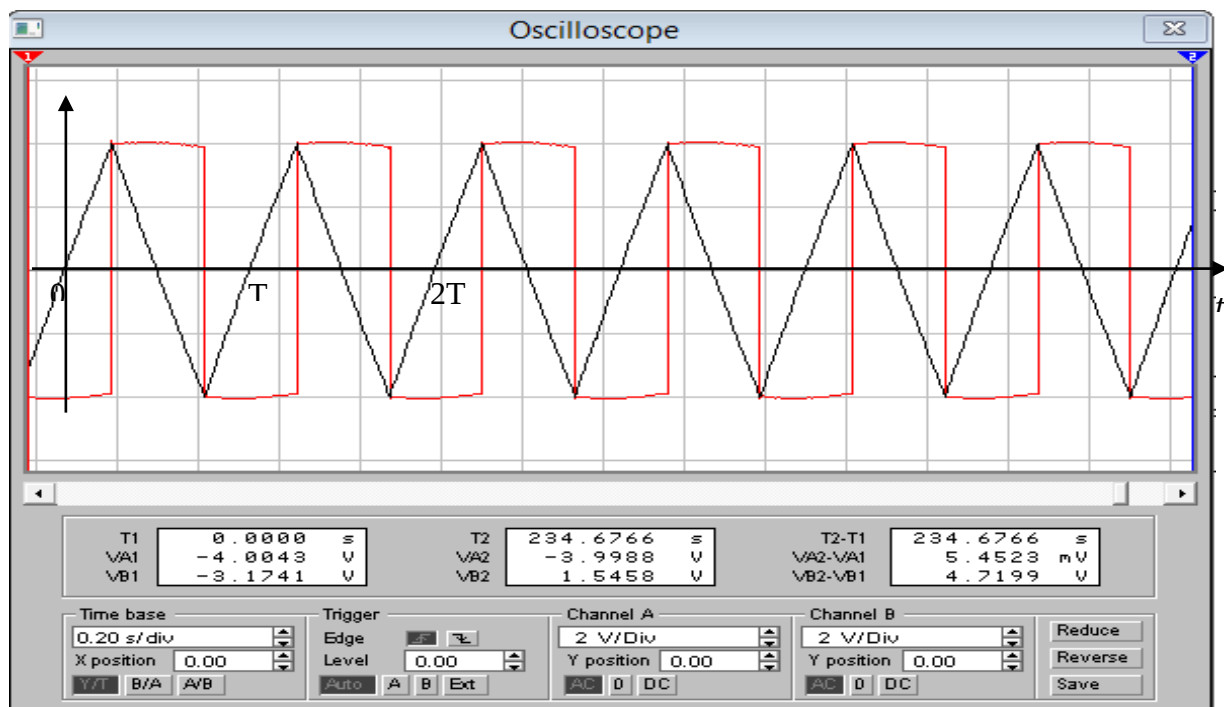


Figure 3.2 : Forme des signaux à la sortie du Trigger et de l'intégrateur

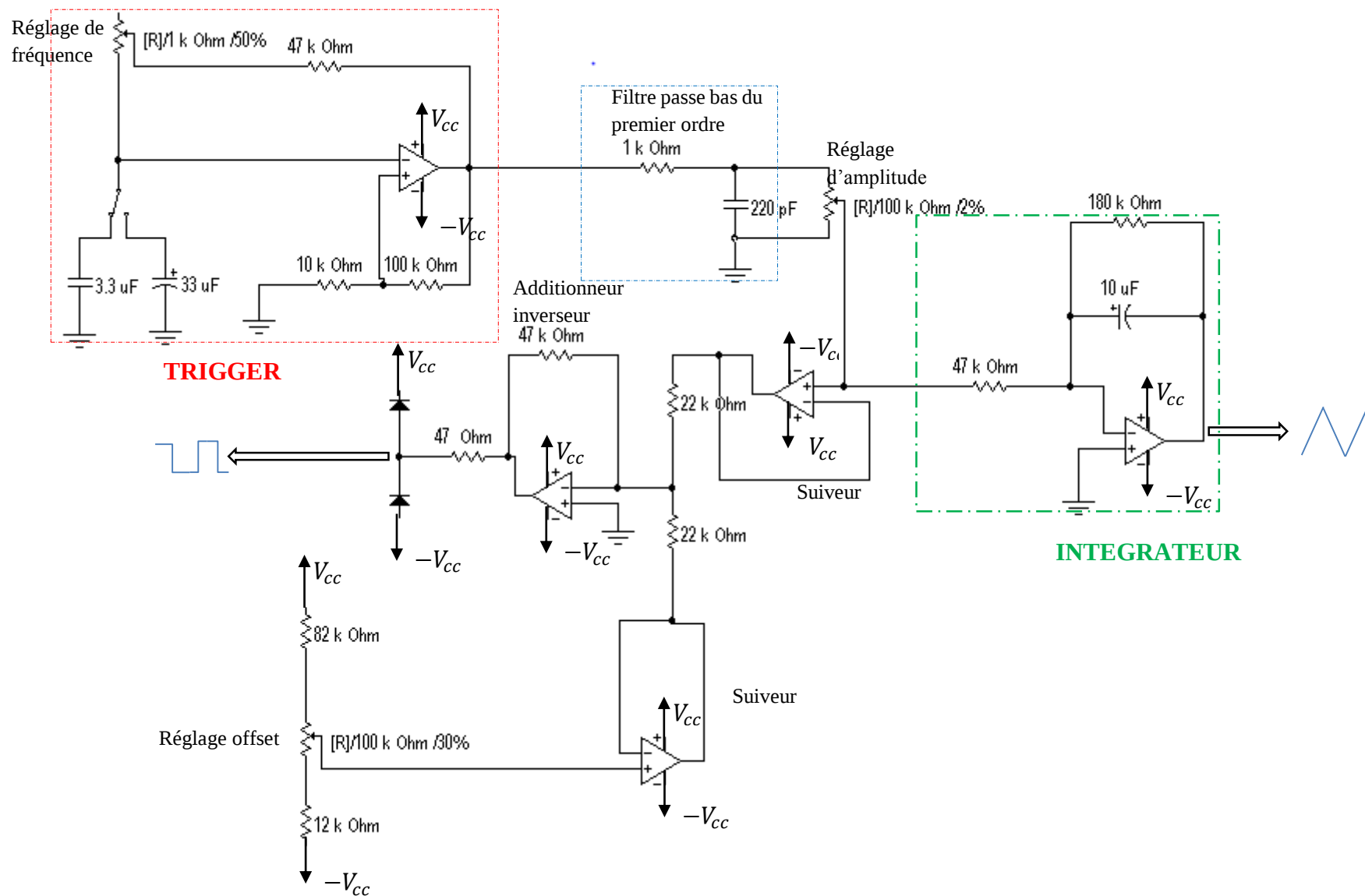


Figure 3.3 : Conception d'un générateur basse fréquence

Pour la visualisation des signaux sur oscilloscope représentée sur la Fig 3.2, on a :

- Signal de sortie du Trigger
- Signal de sortie de l'intégrateur

On remarque qu'il y a relation entre la fréquence et l'amplitude du signal. Plus la fréquence augmente, plus l'amplitude du signal diminue. Par conséquent, on utilise une amplification de ce signal afin d'avoir une tension de quelques volts. On obtient alors un signal amplifié.

2.7. Montage d'oscillateur à pont de Wien

La figure 3.4 nous donne le montage du pont de Wien.

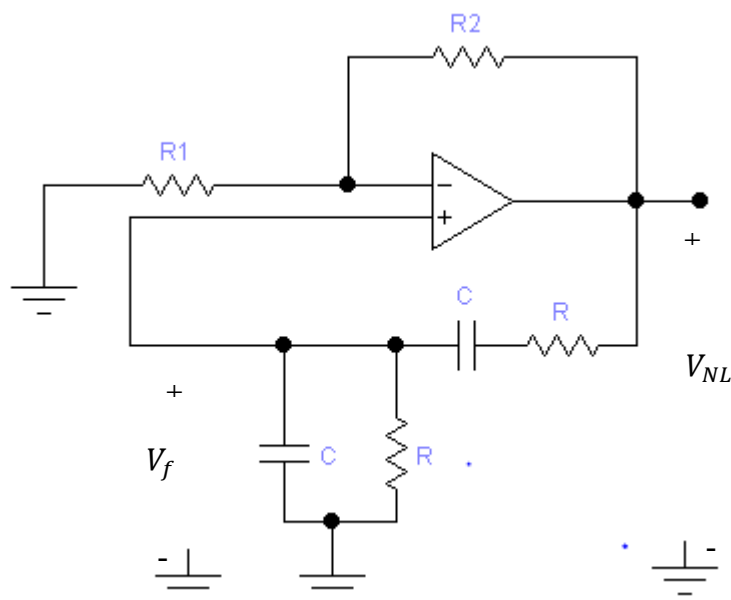


Figure 3.4 : Pont de Wien

La forme du signal de sortie du pont de Wien est donnée par la Fig 3.5.

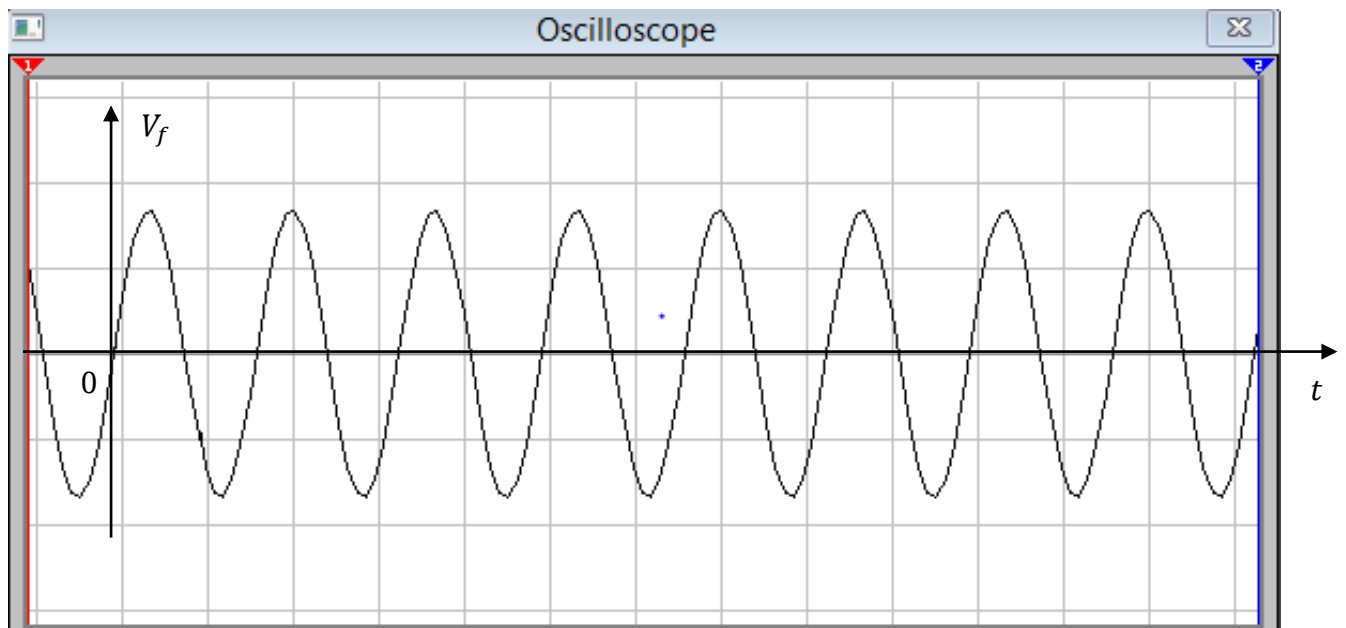


Figure 3.5 : Forme du signal à la sortie

2.8. Montage avec une tension sinusoïdale de fréquence constante

On a seulement pris comme signal de sortie le signal abaissé par le transformateur mais on a conçu un pont diviseur de tension pour varier son amplitude donc à fréquence fixe (50 Hz).

2.9. Montage avec une tension continue

La sortie de ce montage donne une tension continue variant de 1 à 13,5 V.

3. REALISATION PRATIQUE

On a conçu et réalisé notre GBF en basant sur les études théoriques faites ci-dessus. Les photos de la réalisation finale ainsi que la réalisation pratique sur breadboard du GBF sont présentés sur les figures suivantes.

3.1. Schéma de chaque module

Le bloc d'alimentation, le module trigger- intégrateur et pont de Wien et le gain et offset sont montrés respectivement par la Fig 3.6, la Fig 3.7 et la Fig 3.8.

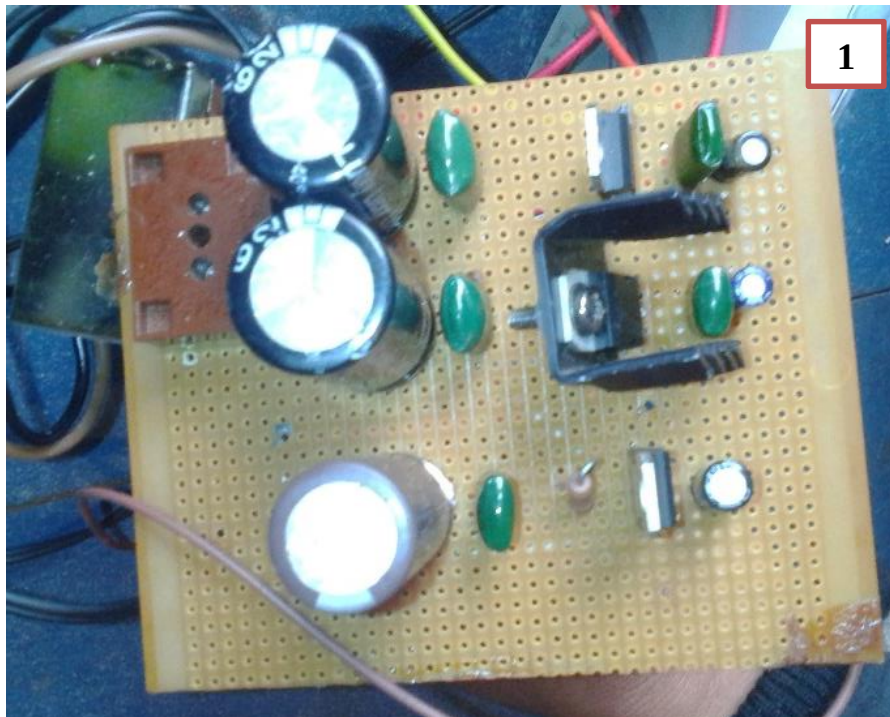


Figure 3.6 : Bloc d'alimentation

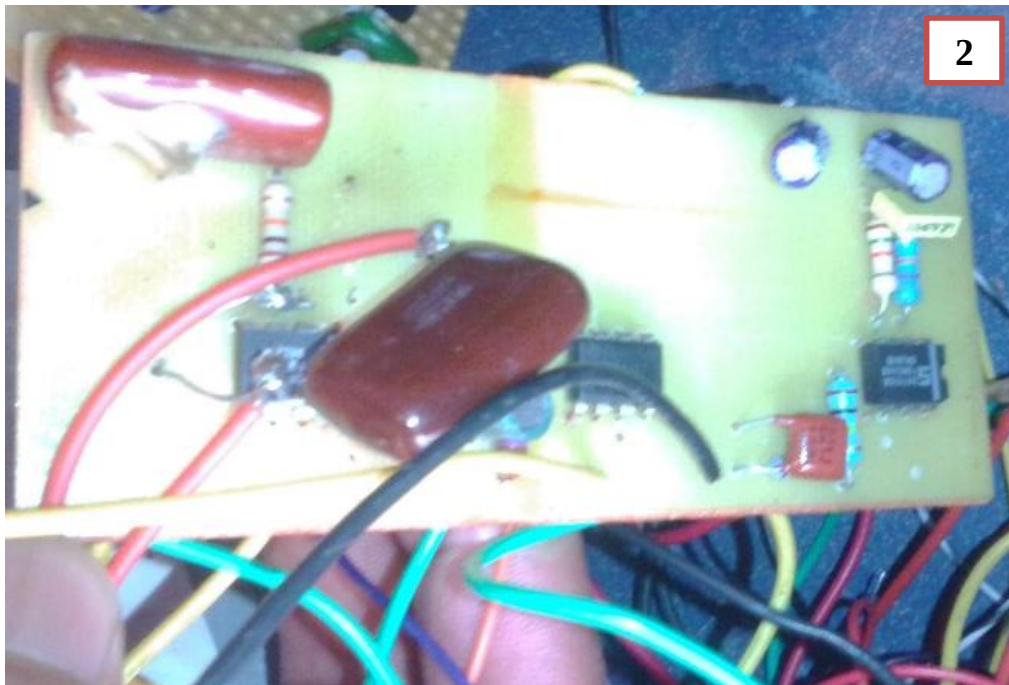


Figure 3.7 : Module Trigger - Intégrateur et pont de Wien

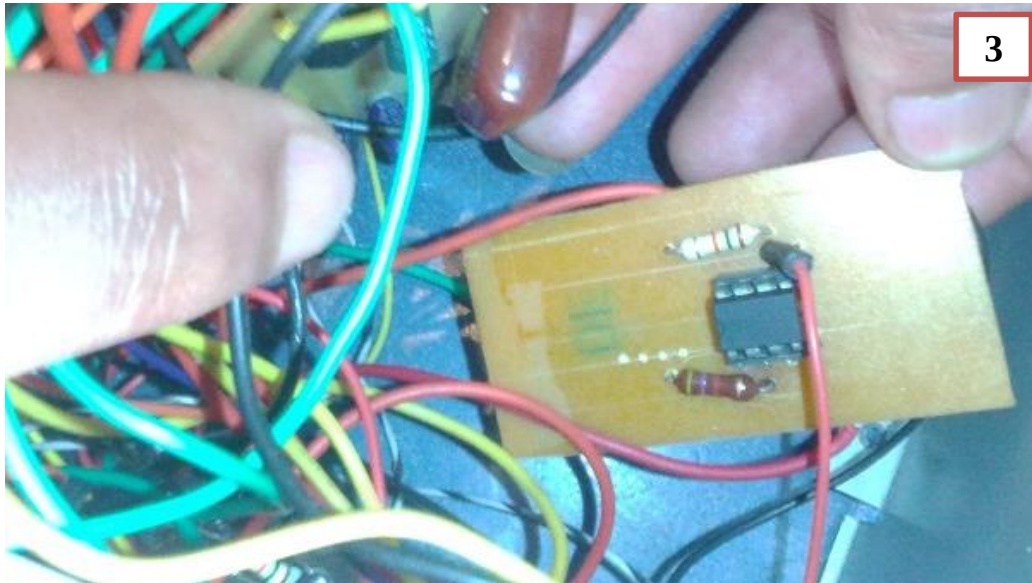


Figure 3.8 : Gain et Offset

La figure 3.9 nous montre le schéma de notre GBF.



Figure 3.9 : Schéma de notre GBF

3.2. Affichage sur le voltmètre - ampèremètre

Dans notre réalisation, on utilise un voltmètre- ampèremètre (0 à 300 V DC) pour connaître la valeur de la tension du signal continu à la sortie.

CONCLUSION GENERALE

Dans tous les circuits électrique et électronique, que ce soit analogique ou numérique, une source d'énergie est nécessaire pour alimenter les circuits et pour assurer leur fonctionnement, qui sont le rôle des générateurs. Ces derniers sont caractérisés principalement par leur fréquence et leur amplitude. Toute grandeur physique ayant au moins ces deux caractéristiques (qui peuvent être évoluées avec le temps ou non) est appelée « un signal ».

Une étude théorique est aussi nécessaire qui après, permettant les manipulations et les réalisations des circuits électroniques dans le domaine de la pratique. C'est ainsi que nous avons conçu les GBF qui sont en mesure de fournir en sortie un signal créneau, triangulaire ou sinusoïdal, réglable en fréquence et en amplitude et une alimentation continue stabilisée. L'offset est aussi réglable surtout pour les signaux rectangulaires. Pour visualiser la forme du signal à fréquence basse à la sortie, l'utilisation d'un oscilloscope est aussi nécessaire.

Les modules de stabilisation ont pour objectif de convertir les signaux EDF, les oscillateurs pour montrer les signaux créneaux en sortie et l'amplificateur pour amplifier en puissance et en module la tension. Après les simulations des différents circuits, nous avons constaté des signaux amplifiés à la sortie.

Pour contrôler un préamplificateur ou un étage final de puissance ou tout autre circuit BF, il faut pouvoir disposer d'un laboratoire doté d'un générateur BF capable de produire une onde sinusoïdale, une triangulaire et une carrée. Les réalisations pratiques étudiées sont à titre démonstratif et montrent des résultats assez satisfaisants. Et nous avons appris de découvrir l'univers pratique de l'électronique, pour réussir des montages et bien assimiler les cours théoriques afin d'affiner nos connaissances.

ANNEXE 1 : MODELE EQUIVALENT DE THEVENIN ET DE NORTON

Il y a une équivalence entre le modèle équivalent de Thévenin et celui de Norton. La figure A.1 nous montre cette équivalence.

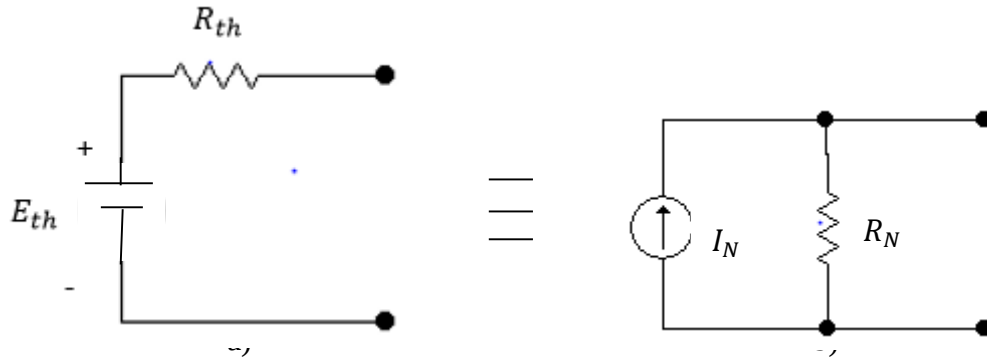


Figure A.1: Equivalence entre modèle de Thévenin et de Norton a : Modèle équivalent de Thévenin ; b : Modèle équivalent de Norton

On a les relations : $R_{th} = R_N$ (A.1)

$$E_{th} = R_{th} \cdot I_N = R_N \cdot I_N \quad (A.2)$$

Où I_n : courant de Norton

E_{th} : tension de Thévenin

R_{th} : résistance de Thévenin

R_N : résistance de Norton

ANNEXE 2 : TRANSFORMEE DE FOURIER

1. Définition

Les séries de Fourier et transformées de Fourier permettent de décomposer, dans le domaine fréquentiel, une fonction en une infinité ou un nombre fini de fréquences. L'idée de base de la série de Fourier est que toute forme d'onde peut être décomposée en une somme de sinusoides (éventuellement une infinité).

La transformation de Fourier permet de décrire dans l'espace des fréquences un signal dont on connaît l'histoire au cours du temps, et réciproquement.

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) e^{-i\omega t} dt \quad (\text{A.3})$$

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} F(\omega) e^{i\omega t} d\omega \quad (\text{A.4})$$

2. Dualité temps-fréquences

$$y = f(t) \Leftrightarrow Y = F(f)$$

$F(f)$ est appelée la transformée de Fourier de $f(t)$ et sa représentation, le spectre en fréquences.

Remarque

On utilise les lettres minuscules pour décrire l'histoire du signal au cours du temps et les lettres majuscules pour le décrire dans le domaine des fréquences ou domaine spectral.

On appelle densité spectrale d'énergie, l'expression :

$$\frac{|F(\omega)|^2}{2\pi} \quad (\text{A.5})$$

La transformation de Fourier est une opération biunivoque. Par conséquent, il y a la même information dans $f(t)$ que dans $F(f)$.

ANNEXE 3 : DATASHEET LM 358

La figure A.2 représente les pins de configuration de LM 358.

PIN CONFIGURATIONS

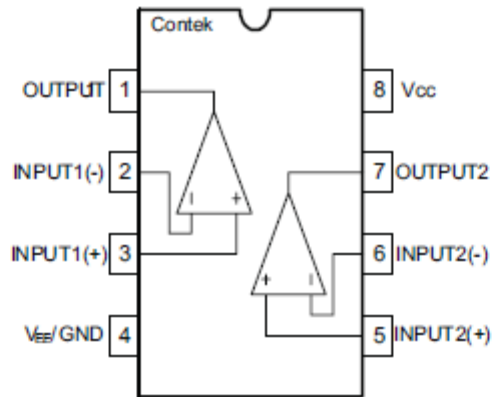


Figure A.2 : Pins de configuration de LM 358

Le tableau I montre l'estimation maximale absolue des paramètres du LM 358 et le tableau II représente sa caractéristique électrique.

Tableau I : L'estimation maximale absolue de LM 358 [15]

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

PARAMETER	SYMBOL	VALUE	UNIT
Supply Voltage	Vcc	+16 or 32	V
Differential Input Voltage	VI(DIFF)	+32	V
Input Voltage	VI	-0.3 ~ +32	V
Output Short to Ground		Continuous	
Operating Temperature Range	TOPR	0 ~ +70	C
Storage Temperature Range	TSTG	-65 ~ +150	C

Tableau II: Caractéristique électrique de LM 358 [15]

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($V_{CC}=5.0V, V_{EE}=GND, T_A=25^\circ C$, unless otherwise specified)

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITION	MIN	TYP	MAX	UNIT
Input Offset Voltage	VIO	$V_{CM}=0V$ to $V_{CC}-1.5V$ $V_{O(P)}=1.4V, R_S=0\Omega$		2.9	7.0	mV
Input Offset Current	IIO			5	50	nA
Input Bias Current	IBIAS			45	250	nA
Input Common Mode Voltage	VI(R)	$V_{CC}=30V$	0		$V_{CC}-1.5$	V
Power Supply Current	ICC	$R_L=$, $V_{CC}=30V$		0.8	2.0	mA
		$R_L=$, Full Temperature Range		0.5	1.2	mA
Large Signal Voltage Gain	GV	$V_{CC}=15V, R_L \geq 2K\Omega$ $V_{O(P)}=1V$ to $11V$	25	100		V/mV
Output Voltage Swing	VO(H)	$V_{CC}=30V, R_L=2K\Omega$	26			V
		$V_{CC}=30V, R_L=10K\Omega$	27	28		
	VO(L)	$V_{CC}=5V, R_L \geq 10K\Omega$		5	20	mV
Common Mode Rejection Ratio	CMRR		65	80		dB
Power Supply Rejection Ratio	PSRR		65	100		dB
Channel Separation	CS	$f=1KHZ$ to $20KHZ$		120		dB
Short Circuit Current to Ground	ISC			40	60	mA
Output Current	ISOURCE	$V_I(+)=1V, V_I(-)=0V$ $V_{CC}=15V, V_{O(P)}=2V$	10	30		mA
	ISINK	$V_I(+)=0V, V_I(-)=1V$ $V_{CC}=15V, V_{O(P)}=2V$	10	15		mA
		$V_I(+)=0V, V_I(-)=1V$ $V_{CC}=15V, V_{O(P)}=200mV$	12	100		mA
Differential Input Voltage	VI(DIFF)				V_{CC}	V

ANNEXE 4 : DATASHEET DU μA 741

La figure A.3 représente les pins de connections du μA 741 et le tableau nous donne l'estimation maximale absolue du μA 741.

PIN CONNECTIONS (topview)

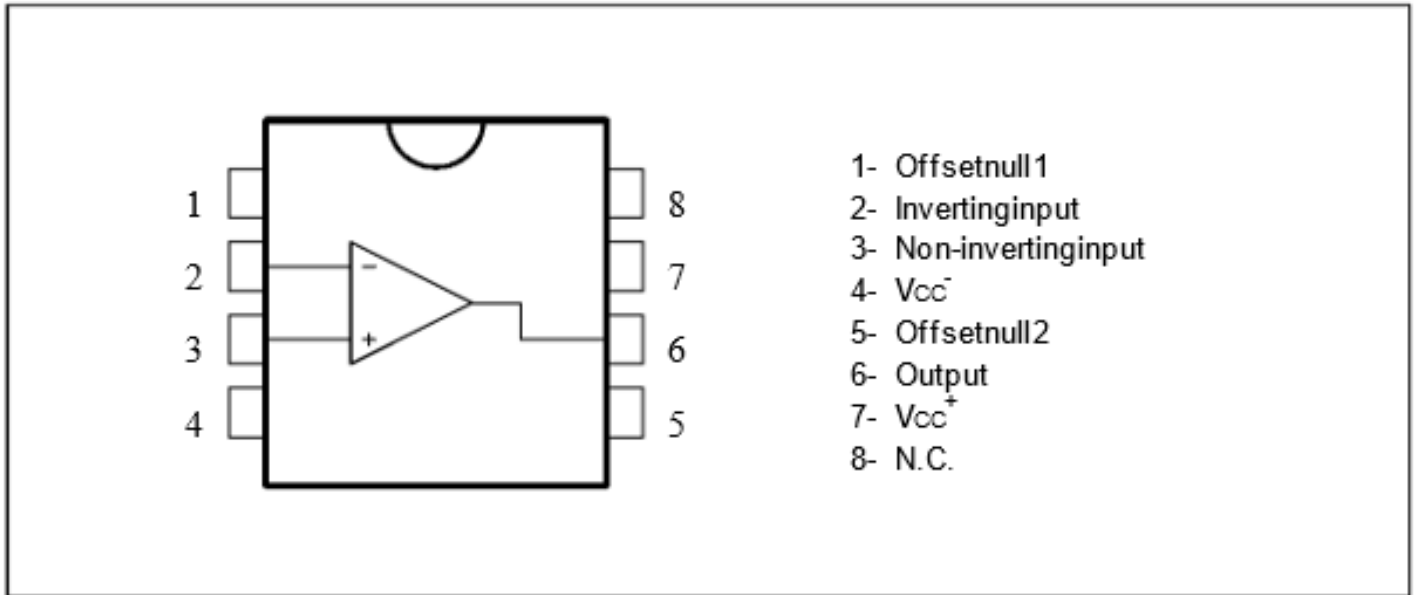


Figure A.3: Pins de connections du μA 741 [16]

Tableau III: L'estimation maximale absolue du μA 741 [16]

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	UA741M	UA741I	UA741C	Unit
V_{cc}	Supply Voltage	± 22			V
V_{id}	Differential Input Voltage	± 30			V
V_i	Input Voltage	± 15			V
P_{tot}	Power Dissipation	500			mW
	Output Short-circuit Duration	Infinite			
T_{oper}	Operating Free Air Temperature Range	-55 to +125	-40 to +105	0 to +70	$^{\circ}C$
T_{stg}	Storage Temperature Range	-65 to +150	-65 to +150	-65 to +150	$^{\circ}C$

Tableau IV: Caractéristique électrique du μA 741 [16]

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

$V_{CC} = \pm 15V$, $T_{amb} = +25^{\circ}C$ (unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_{io}	Input Offset Voltage ($R_S \leq 10k\Omega$) $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min.} \leq T_{amb} \leq T_{max.}$		1	5 6	mV
I_{io}	Input Offset Current $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min.} \leq T_{amb} \leq T_{max.}$		2	30 70	nA
I_{ib}	Input Bias Current $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min.} \leq T_{amb} \leq T_{max.}$		10	100 200	nA
A_{vd}	Large Signal Voltage Gain * ($V_O \pm 10V$, $R_L = 2k\Omega$) $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min.} \leq T_{amb} \leq T_{max.}$	50 25	200		V/mV
SVR	Supply Voltage Rejection Ratio ($R_S \leq 10k\Omega$) $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min.} \leq T_{amb} \leq T_{max.}$	77 77	90		dB
I_{CC}	Supply Current, no load $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min.} \leq T_{amb} \leq T_{max.}$		1.7	2.8 3.3	mA
V_{icm}	Input Common Mode Voltage Range $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min.} \leq T_{amb} \leq T_{max.}$	± 12 ± 12			V
CMR	Common-mode Rejection Ratio ($R_S \leq 10k\Omega$) $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min.} \leq T_{amb} \leq T_{max.}$	70 70	90		dB
I_{OS}	Output Short-circuit Current	10	25	40	mA
$\pm V_{OPP}$	Output Voltage Swing $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min.} \leq T_{amb} \leq T_{max.}$ $R_L = 10k\Omega$ $R_L = 2k\Omega$ $R_L = 10k\Omega$ $R_L = 2k\Omega$	12 10 12 10	14 13		V
SR	Slew Rate ($V_i = \pm 10V$, $R_L = 2k\Omega$, $C_L = 100pF$, $T_{amb} = 25^{\circ}C$, unity gain)	0.25	0.5		V/ μs
t_r	Rise Time ($V_i = \pm 20mV$, $R_L = 2k\Omega$, $C_L = 100pF$, $T_{amb} = 25^{\circ}C$, unity gain)		0.3		μs
K_{OV}	Overshoot ($V_i = 20mV$, $R_L = 2k\Omega$, $C_L = 100pF$, $T_{amb} = 25^{\circ}C$, unity gain)		5		%
R_i	Input Resistance	0.3	2		M Ω
GBP	Gain Bandwidth Product ($V_i = 10mV$, $R_L = 2k\Omega$, $C_L = 100pF$, $f = 100kHz$)	0.7	1		MHz
THD	Total Harmonic Distortion ($f = 1kHz$, $A_v = 20dB$, $R_L = 2k\Omega$, $V_O = 2V_{PP}$, $C_L = 100pF$, $T_{amb} = 25^{\circ}C$)		0.06		%
e_n	Equivalent Input Noise Voltage ($f = 1kHz$, $R_S = 100\Omega$)		23		$\frac{nV}{\sqrt{Hz}}$
ϕ_m	Phase Margin		50		Degrees

ANNEXE 5 : LISTE DES COMPOSANTES

Le tableau suivant résume les différents composants qu'on a utilisés lors de la réalisation.

Tableau V : Liste des composantes

Nom de composants	Valeurs	Nombres	Prix (Ariary)
Amplificateurs opérationnels		5	1000
Résistances	1 k Ω	2	400
Résistance	10 k Ω	1	200
Résistance	12 k Ω	1	200
Résistances	22 k Ω	2	400
Résistances	47 k Ω	4	800
Résistances	82 k Ω	1	200
Résistances	100 k Ω	1	200
Résistances	180 k Ω	1	200
Potentiomètres	100 k Ω	6	1200
Condensateurs	220 pF	1	200
Condensateurs	3,3 μ F	1	200
Condensateurs	33 μ F	1	200
Condensateurs	10 μ F	1	200
Condensateurs de filtrage	2200 μ F (63 V)	3	6000
Transformateur symétrique	12 V x 2	1	10000
Voltmètre-Ampèremètre	0 à 300 V (DC)	1	30000
Diodes	1N4007	10	1000
Plaquette		1	2000
78 12		1	1000
79 12		1	1000
Somme			= 56 600

REFERENCES

- [1] : E 323 Electrotechnique, cours licence 3, Mention Electronique, E.S.P.A, Année Universitaire : 2015 - 2016
- [2] : [https://fr.wikipedia.org/wiki/modèle de Thévenin](https://fr.wikipedia.org/wiki/modèle_de_Thévenin) , consulté le 10 Février 2017
- [3] : www.laboiteaphysique.fr, les différents types de générateurs, Page consulté le 10 février 2017
- [4] : [https://fr.wikipedia.org/wiki/modèle de Norton](https://fr.wikipedia.org/wiki/modèle_de_Norton), consulté le 10 Février 2017
- [5] : [https://fr.wikipedia.org/wiki/analyse de Fourier](https://fr.wikipedia.org/wiki/analyse_de_Fourier), consulté le 01 Février 2017
- [6] : E 342 Distributions, cours licence 3, E.S.P.A, Mention Electronique, Année Universitaire : 2015 - 2016
- [7] : [https://fr.wikipedia.org/wiki/signal carré](https://fr.wikipedia.org/wiki/signal_carré), consulté le 10 Février 2017
- [8] : E 301 Logiques séquentiels, cours licence 3, Mention Electronique, E.S.P.A, Année Universitaire : 2015 - 2016
- [9] : [https://fr.wikipedia.org/wiki/ GF3 et GF4](https://fr.wikipedia.org/wiki/GF3_et_GF4), consulté le 10 Février 2017
- [10] : Frédéric ROGER <https://www.margo.ssi.free.fr>, consulté le 02 Mars 2017
- [11] : E 310 Technique de l'Electronique Discrète, cours licence 3, Mention Electronique, E.S.P.A, Année Universitaire : 2015 – 2016
- [12] : Circuit intégré, cours licence 3, Mention Electronique, E.S.P.A, Année Universitaire : 2015 – 2016
- [13] : E 201 Base de l'électronique, cours licence 2, Mention Electronique, E.S.P.A, Année Universitaire : 2014 – 2015
- [14] : [https://oscillateur à pont de Wien](https://oscillateur_à_pont_de_Wien), consulté le 17 Mars 2107
- [15] : www.national.com/ datasheet de LM 358, consulté le 16 mars 2017
- [16] : Copyright © 1998–2015, Texas Instruments Incorporated, SNOSC25D – MAY 1998 – REVISED OCTOBER 2015, datasheet du μA 741, consulté le 16 mars 2017

Titre : **ETUDE ET REALISATION D'UN GENERATEUR BASSE FREQUENCE**

Auteurs : RAKOTOARISON Harivola Stéphanie *

RAKOTOMALALA Aina Mitantsoa Hanja **

RAKOTONDRAIBE Kanto ***

Nombre de pages : 52

Nombre de figures : 50

Nombre de tableau : 5

RESUME

Suite à notre réalisation du GBF, on a constaté que ce générateur comme son nom l'indique, fournit une tension réglable en fréquence et amplitude. En effet, pour mettre à terme les projets électroniques, on a besoin principalement une source d'alimentation. Le GBF présente à sa sortie trois signaux de forme carrée, triangulaire et sinusoïdale utilisées par exemple pour faire un top d'horloge pour les signaux en créneaux. Il est important et très utile dans le domaine de l'électronique surtout les petits signaux grâce à sa fréquence basse et son amplitude réglable. Tout dispositif électronique nécessite ce générateur pour une faible alimentation en tension dans son utilisation.

Mots clés : Fréquence, Générateur, Signal

Directeur du mémoire : Monsieur **RATIANARIVO Paul Ezekel**

Contact des auteurs :

+261 33 82 461 19 *

+261 33 46 681 37 **

- +261 33 80 191 38 / +261 34 84 232 45 ***

- E-mail : kantorakotondraibe@gmail.com ***