

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

Université de Tlemcen  
Faculté de Technologie  
Département de Génie Electrique et Electronique



**Mémoire pour l'Obtention du Diplôme**  
**Master en Instrumentation Electronique.**  
Option : Instrumentation Electronique.

**Thème**

**Etude et réalisation d'un Inductancemètre simple**

**Présenté le 02 Juillet 2017 par**

**IHCEN BOUALI**

**Devant le Jury composé de**

Président  
Examineur  
Encadreur

Mr. A. HAMDOUNE  
Mr. A. HACHIM  
Mr. A. BELAID

Professeur  
M.A.A  
M.A.A

Année Universitaire 2016-2017

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

# *Remerciements*

*Avons tous propos, nous remercions Dieu de nous avoir donné raison pour atteindre nos objectifs dans la vie et notre croyance en lui.*

*Mon profond remerciement va à l'intention de mon encadreur Monsieur BELAID ALI, pour son soutien moral, son suivie, ces conseils instructifs et son assiduité.*

*Je remercie monsieur BELAID BOUMEDIEN et tous les enseignements qui ont contribué à ma formation ainsi tous ceux qui de près ou de loin ont participé à la réalisation de ce travail.*

*Mes sincères remerciements et ma profonde gratitude vont également au président et aux membres de jury pour l'honneur, en acceptant de juger mon travail.*

# Dédicaces

*Je dédie ce travail à mes parents qui m'ont soutenu durant la réalisation de ce travail, et qu'ils étaient avec moi durant tous les obstacles que je les rencontré dans ma vie.*

*A mes sœurs IMENE et AYA, mes frères ABDELLAH et ABEDERRAHEMANE, que Dieu les bénisses.*

*A mes amies NASSIMA, KHADIDJA, NOURELHOUDA et ZAHIA que j'ai toujours trouvé à mes coté.*

## Résumé

Dans ce projet de fin d'étude, nous avons étudié et réaliser un Inductancemètre permet de mesurer des inductances entre 10 microhenry et 10millihenry.

Dans le premier chapitre nous avons donné une généralité sur les inductances et les caractéristiques de grandeurs mesurées et leurs domaines d'application.

Dans le deuxième chapitre, nous avons étudié les étapes de fonctionnement de l'étage stable trouvé dans le circuit qui est l'étage de génération du signal carré.

Dans le troisième chapitre, nous avons étudié le fonctionnement des différents étages qui ont une fréquence variable selon l'inductance mesuré.

Dans le quatrième chapitre, nous avons fait la réalisation pratique et de même nous avons parlé du fonctionnement du montage.

## Summary

In this Project of final study, we studied and produce an Inductometer makes it possible to measure inductances between 10 microhenry and 10millihenry.

In the first chapter we made an electric general information on inductances and the characteristics of measured size and their scopes of application.

In the second chapter, we studied the stages of operation of the stable stage found in the circuit which is the stage of generation a square signal.

In the third chapter, we studied the operation of various stages which have a variable frequency according to inductance measured.

In the fourth chapter, we made the practical realization and the operation of the assembly.

# SOMMAIRE

Remerciements.....	i
Dédicaces.....	ii
Résumé.....	iii
Summary.....	iv
Sommaire.....	v
Liste des figures.....	x
Liste des tableaux.....	xiii
Nomenclateurs des composants.....	xiv
Introduction générale.....	2
Schéma synoptique.....	4
Le principe de fonctionnement général.....	6

## ***Chapitre I : Généralités.***

I.1 Introduction.....	8
I.2 Généralité sur les bobines.....	8
I.2.1 La bobine d'inductance.....	8
I.2.2 Quelque type des bobines.....	8
I.2.2.1 Bobine plate.....	8
I.2.2.2 Bobine torique.....	9
I.2.2.3 Bobine solénoïde.....	10
I.2.2.4 Bobines de Helmholtz.....	10
I.2.3 Symbole électrique de la bobine.....	11
I.2.4 Les grandeur électrique d'une bobine.....	12
I.2.4.1 La force électromotrice d'induction de la bobine.....	12
I.2.4.2 L'impédance d'une bobine idéale.....	13
I.2.4.3 L'impédance d'une bobine réelle en modèle série.....	13
I.2.4.4 L'impédance d'une bobine réelle en modèle parallèle.....	13
I.2.4.5 Energie emmagasinée dans la bobine.....	14
I.2.5 L'état de charge d'une bobine.....	14

I.2.6 L'état de décharge d'une bobine.....	16
I. 3 Domaine d'utilisation d'une bobine.....	18
I.4 Conclusion.....	18

## **Chapitre II : *Fonctionnement de l'étage stable.***

II.1 Introduction.....	20
II.2 Les semi-conducteurs.....	20
II.3 Les composants actifs et passifs.....	20
II.3.1 Composants actifs.....	20
II.3.2 Composants passifs.....	20
II.4 Les oscillateurs.....	21
II.4.1 Le quartz.....	21
II.4.2 Le principe de fonctionnement d'un Quartz.....	23
II.5 Le transistor.....	23
II.5.1 Les types des transistors.....	23
II.5.1.1 Transistors MOS.....	23
II.5.1.2 Transistor bipolaire.....	23
II.5.1.2.1 Les types d'un transistor bipolaire.....	24
II.5.1.2.2 La puissance dissipée.....	25
II.5.1.2.3 Le type PNP.....	25
II.5.1.2.4 Le type NPN.....	26
II.5.2 Le Fonctionnement d'un transistor.....	26
II.5.2.1 Réseau d'entrée.....	26
II.5.2.2 Réseau de transfert en courant.....	27
II.5.2.3 Réseau de sortie.....	27
II.5.2.3.1 Région de saturation.....	27
II.5.2.3.2 Région active.....	27
II.5.2.3.3 Région d'avalanche.....	27
II.5.3 Le principe de fonctionnement de transistor.....	27
II.6 Le circuit intégré.....	28
II.7 Les portes logiques.....	28
II.8 Les circuits numériques.....	28
II.9 La conversion au signal carré.....	29



II.9.1 La porte logique NAND.....	29
II.10 La mise en forme du signal carré.....	30
II.10.1 La porte inverseuse.....	30
II.11 Conclusion.....	30

### **Chapitre III : *Fonctionnement des étages variables.***

III.1 Introduction.....	32
III.2 Les circuits séquentiels.....	32
III.3 Le mode de fonctionnement.....	32
III.3.1 Mode asynchrone.....	33
III.3.2 Mode synchrone.....	33
III.4 Les avantages principaux du mode synchrone.....	33
III.5 Les bascules.....	33
III.5.1 Les familles des bascules.....	33
III.5.1.1 Bascules de mémorisation.....	33
III.5.1.2 Bascules de comptage.....	33
III.5.2 Types des bascules.....	34
III.6 Etage de calibrage de mesure.....	34
III.6.1 Les compteurs.....	34
III.6.1.1 Les compteurs à saturation.....	34
III.6.1.2 Les compteurs modulaires.....	35
III.6.2 Classification des compteurs.....	35
III.6.2.1 Le sens de comptage.....	35
III.6.2.2 Le code dans lequel est exprimée la valeur sortie.....	35
III.6.2.3 Le type de basculement du compteur.....	35
III.6.2.4 Le nombre de bits en sortie, ou l'intervalle de la valeur de sortie.....	35
III.6.2.5 Le mode de comptage.....	35
III.6.3 Les compteurs asynchrones.....	35
III.6.3.1 Compteurs binaires asynchrones à cycles complets.....	36
III.6.3.2 Décompteurs binaires asynchrones à cycles complets.....	38
III.6.3.3 Les inconvénients des compteurs asynchrones.....	38
III.6.4 Compteurs synchrones.....	38
III.6.4.1 Fonctionnement d'un compteur synchrone.....	39

III.6.5 Le circuit intégré 4518.....	40
III.6.6 Le principe de fonctionnement de .....	42
III.7 Etage diviseur de fréquence par deux.....	43
III.7.1 Diviseur par 2.....	43
III.7.2 Le principe de fonctionnement de la première bascule de CD4013. 43	
III.8 Etage de Saturation.....	44
III.8.1 Bascule D flip-flop.....	44
III.8.2Principe de fonctionnement de la deuxième bascule de CD4013.....	45
III.8.3 Fonctionnement de la deuxième bascule de CD4013selon l'inductance mesurée.....	45
III.8.3.1 Les faibles valeurs.....	45
III.8.3.2 Les valeurs élevées.....	46
III.9Etage de filtrage et redressement (intégration).....	47
III.9.1 Les caractéristiques de chaque type de filtrage.....	47
III.9.1.1 Filtre passe-haut.....	47
III.9.1.2 Filtre passe-bas.....	47
III.9.1.3 Filtre passe-bande.....	48
III.9.1.4 Filtre réjecteur de bande.....	48
III.9.2Les Filtres passifs.....	48
III.9.2.1 Filtre passe-haut.....	48
III.9.2.2 Filtre passe bas du premier ordre.....	49
III.9.3 Redressement du signal filtré.....	51
III.9.4 Le principe de fonctionnement d'étage de filtrage et redressement.....	51
III.10 Réglage de la valeur de l'inductance.....	52
III.11 Etage de mesure.....	52
III.12 Conclusion.....	53

## **Chapitre VI : Réalisation pratique et fonctionnement du montage.**

VI.1 Circuit électrique du montage.....	55
VI.2 Fonctionnement du montage.....	55
VI.3 Réalisation du circuit imprimé.....	57
VI.4 Mesures pratiques et essais.....	57
<b>Conclusion générale.....</b>	<b>63</b>

<b>Annexe.....</b>	<b>65</b>
<b>Références bibliographiques.....</b>	<b>74</b>

# LISTES DES FIGURES

## Chapitre I : *Généralités.*

Figure I. 1 : Bobines plate.....	9
Figure I. 2 : Bobine torique.....	9
Figure I. 3 : Bobine solénoïde.....	10
Figure I. 4 : Bobines de Helmholtz.....	10
Figure I. 5 : Face Nord et Sud d'un solénoïde.....	11
Figure I. 6 : Symbole électrique d'une bobine.....	11
Figure I. 7 : Symbole électrique d'une bobine à noyau de fer.....	11
Figure I. 8 : Symbole électrique d'une bobine à noyau de ferrite.....	11
Figure I. 9 : symbole électrique d'une bobine ajustable.....	12
Figure I. 10 : f.e.m. induit dans la bobine.....	12
Figure I. 11 : Modèle série d'une bobine réelle.....	13
Figure I. 12 : Modèle parallèle d'une bobine réelle.....	14
Figure I. 13 : L'état de charge d'un circuit RL.....	15
Figure I. 14 : Courbe de charge d'une bobine.....	16
Figure I. 15 : L'état de décharge d'un circuit RL.....	17
Figure I. 16 : Courbe de décharge d'un circuit RL.....	18

## Chapitre II : *Fonctionnement de l'étage stable.*

Figure II. 1 : Schéma général d'un oscillateur sinusoïdal [5].....	21
Figure II. 2 : symbole et modèle électrique équivalent du quartz.....	22
Figure II. 3: Types des Transistors MOS.....	23
Figure II. 4 : Types et symboles électrique d'un transistor bipolaire.....	24
Figure II. 5 : Schéma équivalent d'un transistor par deux diodes.....	24
Figure II. 6 : Le réseau caractéristique d'un transistor.....	26
Figure II. 7: Le schéma qui représente la porte NAND.....	29
Figure II. 8 : Circuit interne d'une porte NAND [7].....	29
Figure II. 9 : Représentation schématique et table de vérité d'une porte NON.....	30
Figure II. 10 : Circuit interne d'une porte NON [8].....	30

### **Chapitre III : *Fonctionnement des étages variables.***

Figure III. 1 : Schéma interne et chronogramme d'un compteur asynchrone modulo 8 à cycle complet. ....	36
Figure III. 2 : Schéma interne et chronogramme d'un décompteur asynchrone modulo 8 à cycle complet. ....	38
Figure III. 3 : Schéma interne d'un compteur synchrone modulo 16 des bascules JK... ..	39
Figure III. 4 : Le diagramme fonctionnel de CI4518 [9].....	41
Figure III. 5 : Chronogramme de CI4518 [9]. ....	41
Figure III. 6 : Diagramme logique d'un compteur [9].....	42
Figure III. 7 : Bascule D monté en division.....	43
Figure III. 8 : Chronogramme d'une bascule D.....	43
Figure III. 9 : Bascule D flip-flop. ....	44
Figure III. 10 :Deuxième bascule de CD4518. ....	45
Figure III. 11 : Les signaux de sortie et des entrées d'une bascule D pour une faible valeur d'inductance.....	46
Figure III. 12 : Les signaux de sortie et des entrées d'une bascule D dans le cas d'une valeur d'inductance élevée.....	47
Figure III. 13 : Filtre passe haut du premier ordre.....	49
Figure III. 14 : Filtre passe bas du premier ordre. ....	50
Figure III. 15 : La tension d'entrée et de sortie dans un filtre passe-bas. ....	51
Figure III. 16 : Signal de redressement d'une diode.....	51
Figure III. 17 : Le circuit électrique de filtrage et de redressement.....	52

### **Chapitre VI :*Réalisation pratique et fonctionnement du montage.***

Figure VI. 1 : Circuit électrique du montage. ....	55
Figure VI. 2 : Circuit imprimé de la plaque électronique.....	57
Figure VI. 3 : Le signal de sortie sur le collecteur de transistor BC547.....	58
Figure VI. 4 : Le signal de sortie de porte NAND de TTL 74HC132.....	58
Figure VI. 5 : Le signal de mise en forme de CI4069 (position 1 de CI4518). ....	59
Figure VI. 6 : Le signal de sortie de la position 2 de CI4518.....	59
Figure VI. 7 : Le signal de sortie de la position 3 de CI4518.....	60
Figure VI. 8 : Le signal de sortie de diviseur par 2 de CI4013 correspondant à la position 1 de CI4518.....	60

Figure VI. 9 : Le signal de sortie de diviseur par2 de CI 4013 correspondant à la position 2 de CI4518.....	61
Figure VI. 10 : Le signal de sortie de diviseur par2 de CI4013 correspondant à la position 3 de CI4518.....	61

# LISTES DES TABLEAUX

## **Chapitre II : *Fonctionnement de l'étage stable.***

Tableau II. 1 : Tableau de vérité de la porte NAND..... 29

## **Chapitre III : *Fonctionnement des étages variables.***

Tableau III. 1 : Table de transition réduite d'un compteur binaire modulo 8..... 40

Tableau III. 2 : Tableau logique d'une bascule D..... 44

## **Chapitre VI : *Réalisation pratique et fonctionnement du montage.***

Tableau VI. 1 Comparaison entre les valeurs réelles et les valeurs de circuit réalisé. ... 56

# NOMENCLATEURS DES COMPOSANTS

## 1 Les résistances

R1, R5, R6 = 1 k  $\Omega$ .

R2 = 47 k $\Omega$ .

R3 = 330 $\Omega$ .

R4 = 10 k $\Omega$ .

R7 = 10 k $\Omega$  trimmer.

R8 = 2 k $\Omega$  trimmer.

R9 = 2,2 k $\Omega$ .

R10 = 22 k $\Omega$ .

R11 = 820  $\Omega$ .

## 2 Les condensateurs

C1, C2 = 47 pF céramique.

C3, C4, C5, C8, C9, C6 = 100 nF polyester.

C7 = 22  $\mu$ F électrolytique.

C10 = 47  $\mu$ F électrolytique.

## 3 Les diodes

DS1, DS2, DS3 = Diode 1N4148.

DL1 = Diode LED.

Q1: Transistor NPN BC547.

X1: Quartz 1.8 MHz.

S1.A = dip switch 4position.

S1.B = dip switch 4position.

S2 = Interrupteur.

## 4 Circuits intégrés

U1 = Intégré TTL 74HC132.

U2 = Intégré C/Mos 4518.

U3= Régulateur 78L05.



U4 = Intégré C/Mos 4013.

U5 = Intégré C/Mos 4069.

# ***INTRODUCTION GENERALE.***

# INTRODUCTION GENERALE

Tout laboratoire d'électronique doit être équipé des appareils de base comme : l'alimentation, un multimètre, un oscilloscope, GBF.....

Notre travail consiste à étudier puis réaliser un appareil de base de laboratoire permettant de déterminer la valeur des inductances.

Pour mesurer la valeur de l'inductance il suffit de mesurer le courant absorbé par la bobine qui atteint son maximum en un temps proportionnel à la valeur de l'inductance, et utilisé un ampèremètre comme un afficheur de valeur.

C'est dans cet axe que nous proposons de réaliser un Inductancemètre qui nous permet de mesurer n'importe quelle inductance, en partant d'une valeur minimale de 10  $\mu\text{H}$  jusqu'à une valeur maximale de 10 mH.

Ce travail se divise en quatre chapitres dans les trois premiers chapitre nous avons fait l'étude théoriques, et dans le quatrième chapitre l'étude pratique.

-Le premier chapitre consacré à une généralité électrique sur les bobines qui nous explique bien leur fonctionnement, et ces caractéristiques électriques.

-Le deuxième chapitre sera consacré à l'étude des étapes de l'étage principale de notre montage qui permet d'appliqué une tension de forme carré sur la bobine mesurée, et la mise en forme de cette tension à base des circuits numériques.

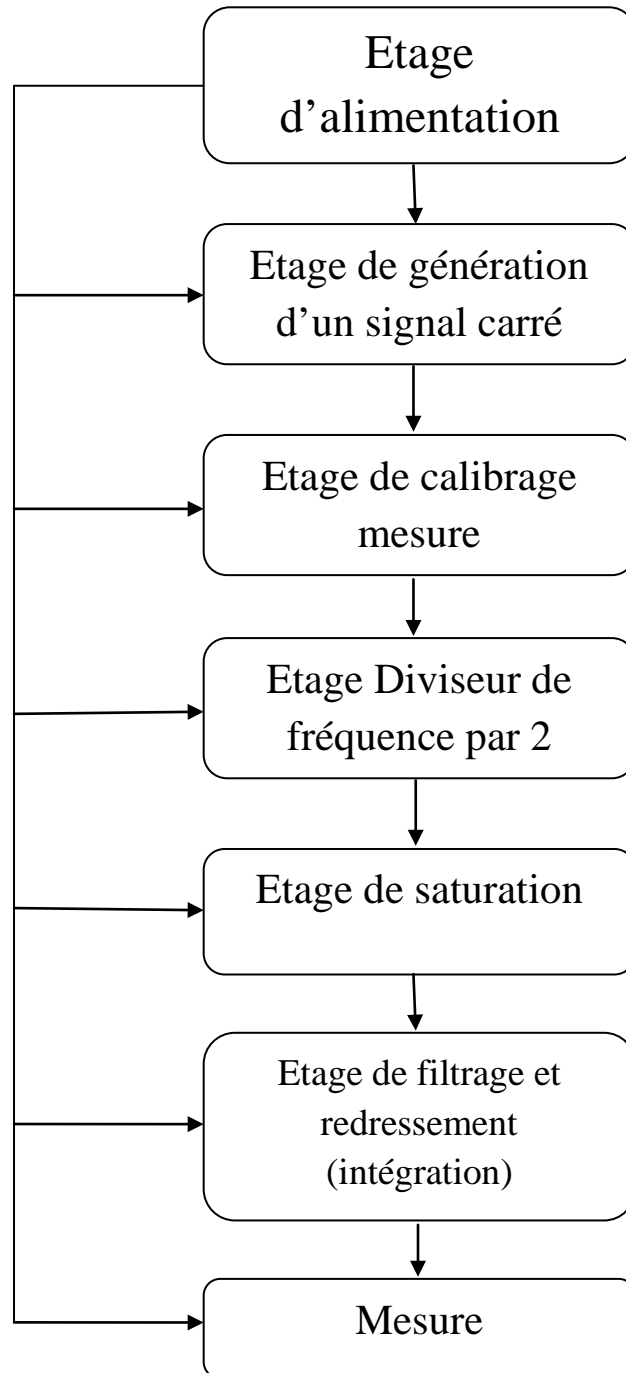
-Le troisième chapitre basé sur les circuits séquentiels : compteurs, bascules qui permet de diviser la fréquence sur 10, 100, 2 et de déterminer le courant de saturation absorbé par les circuits intégrés CD4518 et CD4013. Ensuite l'étage de filtrage et redressement pour indiquer le courant absorbé.

-En quatrième chapitre on présentera notre réalisation pratique et on expliquera le principe de fonctionnement général.

***SCHEMA SYNOPTIQUE.***

# SCHEMA SYNOPTIQUE

Le schéma bloc ci-dessus représente les différents étages qui composent notre montage.



**Figure 1: Schéma synoptique du montage.**

***LE PRINCIPE DE  
FONCTIONNEMENT GENERAL.***

## **LE PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT GENERAL**

Le principe général de cette réalisation basé sur la mesure de la valeur d'une inductance est d'appliquer une tension à une Inductance quelconque dont la valeur est inconnue entre  $10\mu\text{H}$  et  $10\text{mH}$ . Alors le courant absorbé par cette inductance va attendre son maximum en un temps proportionnel à la valeur de l'inductance. A cet effet la mesure de la valeur d'une inductance en microhenry ou en millihenry nécessite l'application à cette dernière une tension de la forme carrée avec une fréquence bien déterminée, par la suite en mesure le courant qui circule à l'intérieur de l'inductance.

# **Chapitre I :**

## ***Généralités.***



## **I.1 Introduction**

Ce projet est basé sur la réalisation d'un instrument de mesure utilisé dans le domaine de l'électronique permettant de donner la valeur d'une grandeur magnétique de la bobine, pour cela on doit comprendre bien le principe de fonctionnement, les caractéristiques électriques et magnétiques de la bobine, et spécialement la grandeur à mesurée qui est l'inductance  $L$ .

## **I.2 Généralité sur les bobines**

Les matériaux magnétiques occupent une très grande place en technologie, et leurs applications sont très nombreuses.

### **I.2.1 La bobine d'inductance**

La bobine d'inductance est un composant de base de l'électronique et de l'électrotechnique facile à fabriquer, c'est un dipôle passif non polarisé elle est constituée d'un enroulement d'un fil conducteur d'une longueur  $l$  enroulé soit dans l'air soit sur un noyau d'un matériau ferromagnétique, formant plusieurs spires  $N$  d'un rayon  $R$ . Le nombre de spires  $N$ , le type du matériau et la longueur du fil conducteur même la forme du noyau influenceront sur les propriétés physiques de la bobine.

Tout matériau conducteur traversé par un courant électrique génère un champ magnétique dans l'espace environnant. Le champ magnétique est une manifestation de l'énergie, la bobine reçoit de l'énergie électrique qui est le courant et la transforme en énergie magnétique à cause de cette transformation la bobine possède des grandeurs magnétiques. La nature du champ magnétique dépend de la nature du courant  $I$ . Si le courant  $I$  est un courant sinusoïdal, le champ magnétique sera sinusoïdal aussi, si il est continu, le champ magnétique le sera aussi, son sens dépend aussi du sens de courant électrique qui la parcourt, la bobine d'inductance possède toujours un pôle nord et un pôle sud. Le spectre magnétique est l'ensemble des lignes de champ magnétique dans l'espace.

### **I.2.2 Quelque type des bobines**

#### **I.2.2.1 Bobine plate**

On appelle spire circulaire, tout circuit dont la forme géométrique est un cercle circulaire sa longueur est plus petit par rapport à son rayon. Si on enroule plusieurs fois le conducteur autour de la première spire on obtient une bobine plate équivalente à  $N$  spires, son champ magnétique est  $N$  fois intense.

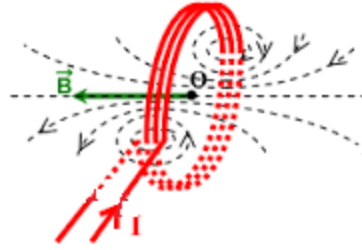


Figure I. 1 : Bobines plate.

Près du conducteur les lignes du champ se referment, comme dans le cas d'un conducteur rectiligne, au centre de la bobine les lignes du champ sont presque parallèles, le champ est moins intense son intensité diminue encore lorsque on s'éloigne du plan de la spire, elle possède une face magnétique nord d'un côté, et une face magnétique sud de l'autre côté si on approche un aimant on observe un effet mécanique : soit répulsion, ou bien une attraction qui dépend du pôle de l'aimant. Le champ magnétique change aussi avec le changement de sens du courant. Le champ magnétique d'une bobine plate est donné par la relation suivante :

$$B = \mu_0 \cdot \frac{N \cdot I}{2 \cdot R}$$

### I.2.2.2 Bobine torique

Une bobine torique est constituée d'un conducteur enroulé sur une surface d'une forme géométrique d'un anneau, caractérisé par un rayon  $r$  et un nombre de spire  $N$  enroulé régulièrement sur un rayon  $R$ .

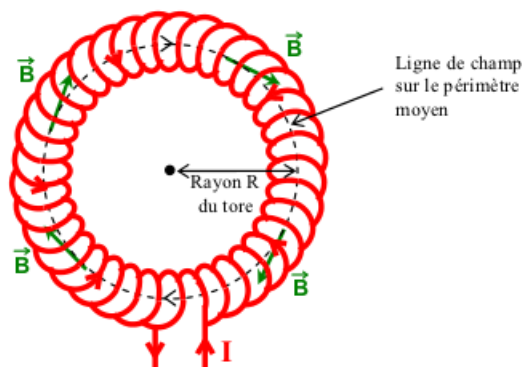


Figure I. 2 : Bobine torique.

Le champ magnétique d'une bobine torique est totalement canalisé à l'intérieur du tore.

### I.2.2.3 Bobine solénoïde

Une bobine solénoïde est un conducteur enroulé sur un manchon cylindrique, sa longueur peut être plus ou moins grande par rapport au diamètre des spires, à l'intérieur du solénoïde les lignes du champ magnétique sont uniforme et parallèles mais à l'extérieur, le spectre magnétique serait donné par un barreau magnétique, les faces terminales du solénoïde jouent le rôle des régions polaire Nord et Sud d'un aimant.

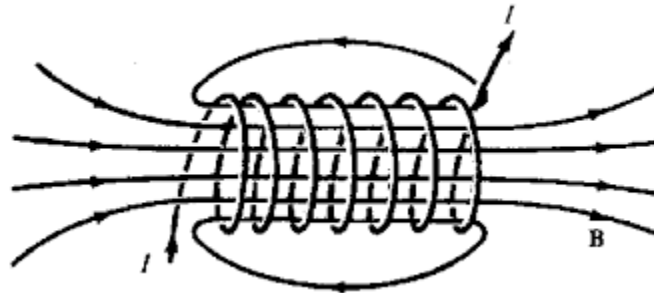


Figure I. 3 : Bobine solénoïde.

### I.2.2.4 Bobines de Helmholtz

Une bobine de Helmholtz est constituée de deux bobines plates d'un rayon commun  $R$  séparées par une distance  $D$  qui doit avoir une valeur voisine du rayon  $R$  des deux bobines.

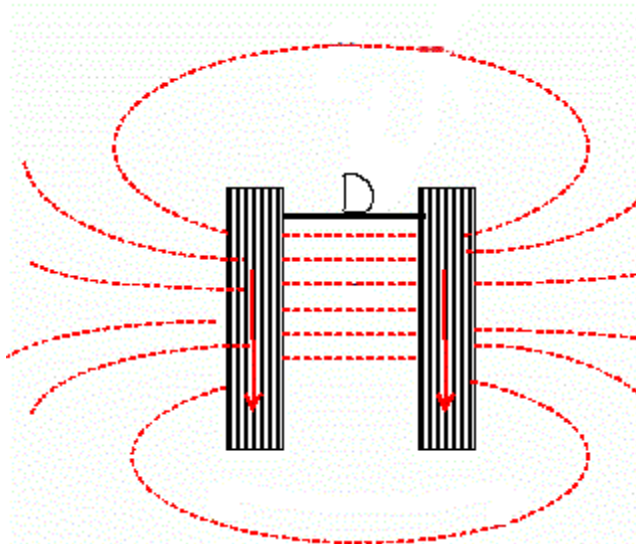


Figure I. 4 : Bobines de Helmholtz.

Le champ magnétique créé par les bobines dans une région voisine du centre de symétrie du système est uniforme, parallèle dirigé suivant l'axe commun des bobines.

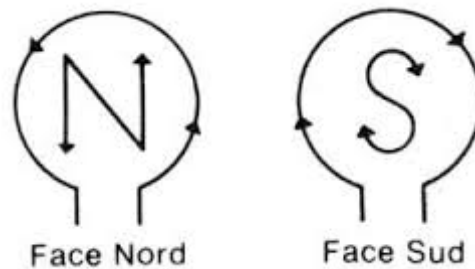
La valeur du champ magnétique uniforme au centre de la bobine est donnée par l'équation suivante :

$$B = 0,72 \cdot \mu_0 \cdot \frac{N \cdot I}{R}$$

Pour obtenir un champ magnétique uniforme on peut utiliser un solénoïde long ou des bobines de Helmholtz. La différence entre ces deux bobines c'est que :

- Loin des extrémités d'un solénoïde long le champ magnétique est très uniforme mais l'accès à ce champ est rendu délicat pour des expériences encombrantes.
- L'uniformité du champ magnétique est moins précise dans la réalisation des expériences utilisant des bobines volumineuses de Helmholtz.

On peut déterminer la face Nord et Sud d'un Solénoïde par le sens de passage de courant selon le schéma suivant :



**Figure I. 5 : Face Nord et Sud d'un solénoïde.**

### I.2.3 Symbole électrique de la bobine

Le symbole électrique qui représente la bobine dans un circuit électrique est le suivant :



**Figure I. 6 : Symbole électrique d'une bobine.**



**Figure I. 7 : Symbole électrique d'une bobine à noyau de fer.**



**Figure I. 8 : Symbole électrique d'une bobine à noyau de ferrite.**

Les Bobines ajustables : les bobines ajustables ce sont des bobines encapsulées dans un boîtier tel qu'on peut modifier sa valeur dans un intervalle bien déterminé à l'aide d'un repère rotatif.



Figure I. 9 : symbole électrique d'une bobine ajustable.

## I.2.4 Les grandeurs électriques d'une bobine [13]

### I.2.4.1 La force électromotrice d'induction de la bobine

Lorsque le courant dans les spires d'une bobine varie, il génère un champ magnétique  $\vec{B}$  variable, celle-ci devient siège d'une force électromotrice d'induction  $e(t)$  «f.e.m.» ayant le même sens que le courant. Plus la variation est rapide dans le temps plus la f.e.m. est grande. Il existe une relation entre la tension et le courant, qui traduit les propriétés électrocinétiques du composant bobine.

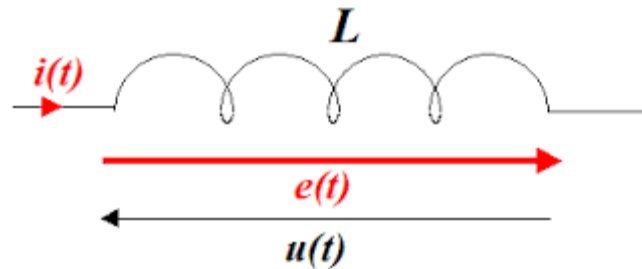


Figure I. 10 : f.e.m. induit dans la bobine.

Chaque bobine possède une résistance interne  $r$  exprimée en  $\Omega$  du fil conducteur alors on a :

$$r = \rho \cdot \frac{l}{S}$$

$\rho$  étant la résistivité du matériau,  $l$  la longueur du conducteur et  $S$  sa section, une variation de résistance peut être obtenue par une variation de résistivité, de longueur, et de section.

La tension aux bornes de la bobine s'écrit sous la forme suivante :

$$u_{\text{Bobine}}(t) = L \frac{di(t)}{dt} + r \cdot i(t)$$

Avec

$L$  : l'inductance de la bobine exprimé en H.

En régime continu, le terme  $\frac{di}{dt}$  est nul, la bobine se comporte comme un conducteur ohmique d'une résistance  $r$ .

#### I.2.4.2 L'impédance d'une bobine idéale

L'impédance d'une bobine idéale parcourue par une fréquence  $f$  est définie comme suite :

$$Z_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L$$

On pose  $\omega = 2\pi f$ . alors l'impédance  $Z_L$  est donnée par la formule suivante :

$$Z_L = L \cdot \omega$$

#### I.2.4.3 L'impédance d'une bobine réelle en modèle série

Il est d'usage de modéliser en régime linéaire une bobine idéale par une résistance en série.



Figure I. 11 : Modèle série d'une bobine réelle.

$$Z = R + j \cdot (L \cdot \omega) = Z \cdot e^{j \cdot \phi}$$

On a

$$|Z| = \sqrt{R^2 + (L \cdot \omega)^2}$$

Le déphasage  $\phi$  calculé par la relation :

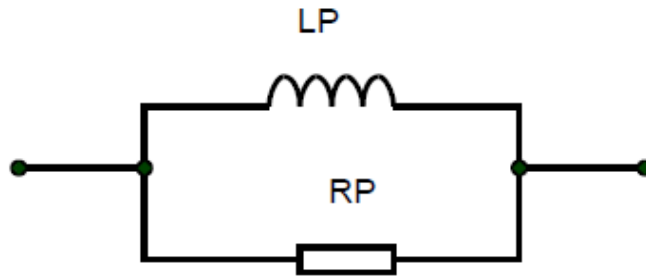
$$\phi = \text{Arctang} \left( \frac{L \cdot \omega}{R} \right)$$

Ce modèle est validé pour le régime de fonction en basse fréquence ( $< 1 \text{ KHz}$ ).

#### I.2.4.4 L'impédance d'une bobine réelle en modèle parallèle

Il est constitué de l'association en parallèle d'une résistance  $R$  et une bobine idéale en régime sinusoïdale de fréquence  $f$  et de pulsation  $\omega$  et avec une bobine d'un

facteur de qualité  $Q$  les deux modèles précédents sont équivalents interchangeables à condition de poser.



**Figure I. 12 : Modèle parallèle d'une bobine réelle.**

$$R_p = R (1 + Q^2) \quad \text{et} \quad L_p \cdot \omega = L \cdot \omega \cdot \left( \frac{1 + Q^2}{Q^2} \right)$$

$$\text{Alors} \quad Q = \frac{L \cdot \omega}{R} = \frac{R_p}{L_p \cdot \omega}$$

#### I.2.4.5 Energie emmagasinée dans la bobine

Une bobine traversée par un courant  $I$ , permet de stocker une énergie électromagnétique exprimée en joule donnée par la formule suivante :

$$E = \frac{1}{2} \cdot L \cdot i^2$$

#### I.2.5 L'état de charge d'une bobine

Le mot charger signifie « approvisionner, compléter, remplir », une inductance est chargée lorsque l'énergie est accumulée dans ce champ magnétique, une bobine qui n'est associée à aucun champ magnétique est dite bobine déchargée, il n'y a pas d'énergie accumulée et il ne circule aucun courant. Charger est l'action d'augmenter la quantité d'énergie emmagasinée, lorsque une bobine se charge sous l'action d'une tension entre ces bornes, sa vitesse de variation de courant sera constante aussi. Par conséquent, le courant de la bobine sera directement proportionnel au temps durant lequel la tension de charge est constante.

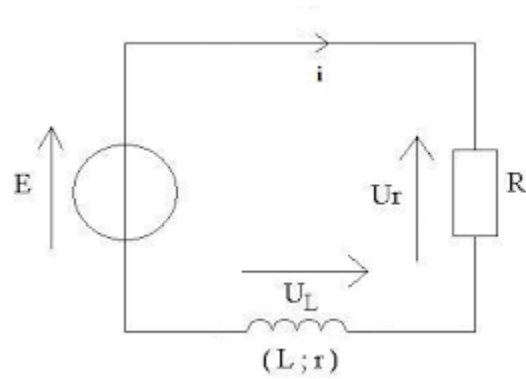


Figure I. 13: L'état de charge d'un circuit RL.

$$E = (R+r).i + L.\frac{di}{dt}$$

Equation différentielle régissant l'évolution du courant dans le circuit.

C'est une équation différentielle du premier ordre, à coefficients constants, à second membre constant.

$$\frac{di}{dt} = \frac{E}{L} - \left(\frac{R+r}{L}\right).i$$

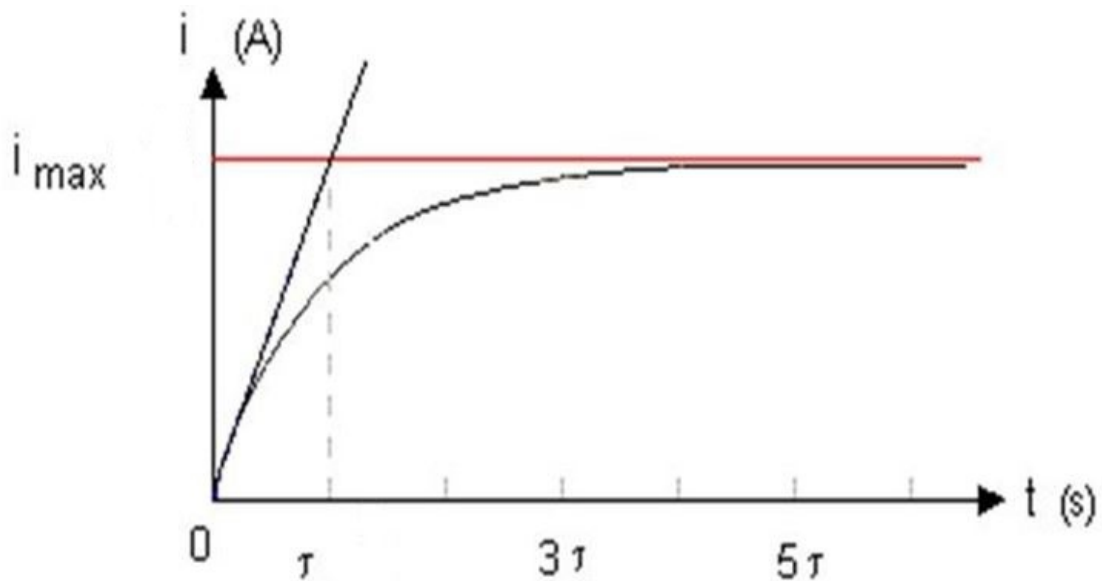
La résolution de cette équation différentielle conduit aux expressions de  $i(t)$  suivantes:

$$i(t) = \frac{E}{R+r} \left(1 - e^{-\frac{(R+r)t}{L}}\right)$$

Le rapport  $\tau = \frac{L}{r+R}$  est homogène à un temps mesuré en seconde, et appelé constante de temps du dipôle RL.

$$i(t) = \frac{E}{R+r} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right)$$





$$\text{Avec : } i_{\max} = \frac{E}{R+r}$$

**Figure I. 14 : Courbe de charge d'une bobine.**

Le courant de la bobine augmente linéairement jusqu'à le temps de saturation de la bobine, la constante de temps  $\tau$ : durée au bout de laquelle l'intensité du courant dans le circuit a atteint 63% de sa valeur maximale.

Dans l'état de charge d'une bobine on peut distinguer deux phases :

- **Phase transitoire:** entre 0 et  $5\tau$  la bobine s'oppose à l'établissement du courant dans le circuit.
- **Phase permanent:** au-delà de  $5\tau$ ,  $i = I_{\max} = \text{cte}$ , donc  $\frac{di}{dt} = 0$ , la bobine se comporte alors comme une résistance.

### I.2.6L'état de décharge d'une bobine

Une bobine n'emmagasine de l'énergie que si elle est parcourue par un courant, donc si la source est débranchée, le courant cesse, le champ magnétique chute brusquement et l'énergie est restituée lorsque une bobine se décharge, elle fournit une tension constante entre les bornes d'un réseau, il existe également une relation linéaire entre le courant et le temps, Le courant décroît car l'énergie est fournie par le champ magnétique décroissant de la bobine.

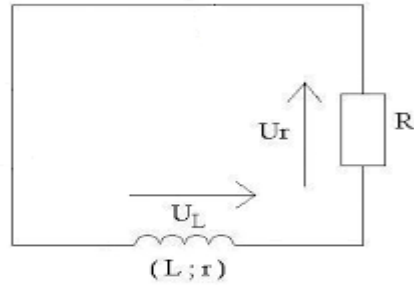


Figure I. 15 : L'état de décharge d'un circuit RL.

$$(R+r).i + L. \frac{di}{dt} = 0$$

Equation différentielle régissant l'évolution du courant dans le circuit

C'est une équation différentielle du premier ordre, à coefficients constants, à second membre constant.

$$\frac{di}{dt} + \frac{(R+r)i}{L} = 0$$

La résolution de cette équation différentielle conduit aux expressions de  $i(t)$  suivantes:

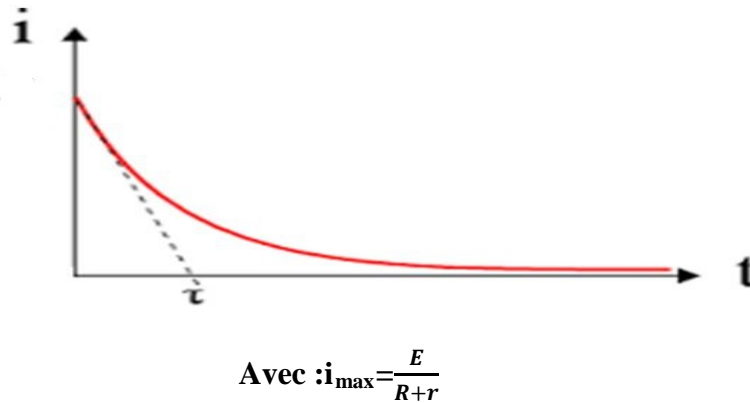
$$i(t) = \frac{E}{R+r} \cdot e^{-\frac{(R+r)t}{L}}$$

Le rapport  $\tau = \frac{L}{r+R}$  est homogène à un temps mesuré en seconde, et appelé constante de temps du dipôle RL.

Pour  $t \rightarrow \infty$  le régime étant continu, la bobine se comporte comme un fil d'où  $U_L = 0$  et  $i = 0$ .

$$i(t) = \frac{E}{R+r} \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$

La valeur initiale de constant de temps correspond à une intensité égale à 37% de la valeur maximale.



**Figure I. 16 : Courbe de décharge d'un circuit RL.**

Le courant ne pouvant s'annuler brusquement à cause de l'énergie emmagasinée dans la bobine. Lorsque le courant d'une bobine  $I$  ne varie presque plus on dit que la bobine est chargée ou déchargée.

### I.3 Domaine d'utilisation d'une bobine

Les bobines sont souvent utilisées pour assurer une fonction de filtrage en basse fréquence, ou en haute fréquence, elle peut aussi être utilisée comme capteur de champ magnétique ou comme capteur de vibration, de même elle peut être utilisée pour retarder un signal électrique de quelques nanosecondes à quelques millisecondes dans ce cas ces selfs sont appelées lignes à retard, On trouve les bobines dans la réalisation de :

- Le filtrage pour la réalisation de convertisseurs.
- Le relais et le contacteur.
- Le moteur pas à pas.
- Le transformateur d'alimentation.
- Le principe de hacheur.
- Le transformateur d'impulsion.
- Le filtrage par exemple pour les hauts parleurs.
- Les circuits oscillants.

### I.4 Conclusion

Dans ce chapitre on a donné une généralité sur les bobines et ces grandeurs électriques pour qu'on puisse comprendre bien leurs fonctionnements, les conditions, les domaines d'utilisation et ces propriétés. Ainsi de l'étudier dans l'état de charge et décharge pour déterminer les conditions de mesure d'une inductance  $L$ .

## **Chapitre II :**

*Fonctionnement de l'étage stable.*

## **II.1 Introduction**

En électronique chaque circuit électrique contient des composants qui sont reliés entre eux pour réaliser les fonctions désirées, et qui sont réalisées par des étages tels que chaque étage a un principe et un rôle bien déterminé.

Pour cela on doit définir et déterminer le principe de fonctionnement des étages de ce circuit on précise dans ce chapitre que le circuit stable est le circuit qui a une valeur de tension, de courant et de fréquence stable exemple:

- Etage de génération d'un signal carré.

## **II.2 Les semi-conducteurs [1]**

Entre les conducteurs et les isolants on peut classer un certain nombre des solides ayant, à la température ambiante, une résistivité comprise entre  $10^{-4} \Omega\text{m}$  et  $10^2 \Omega\text{m}$ , la distance dans un matériau semi-conducteur entre la bande de conduction et la bande de valence a une énergie de 1 eV. Dans un semi-conducteur, la bande de conduction est vide à la température 0 Kelvin, dans ce cas il est considéré comme un isolant.

Parmi les semi-conducteur il y'a : Carbone, Silicium, Germanium, Sélénium, oxyde de cuivre.....

## **II.3 Les composants actifs et passifs**

### **II.3.1 Composants actifs**

Un composant actif est un composant électronique qui permet d'augmenter la puissance d'une tension, courant, ou les deux. Il existe généralement une connexion électrique interne entre les deux bornes du composant où le courant et la tension sont de même signe. On peut citer en majorité des semi-conducteurs: diode, circuit intégré....

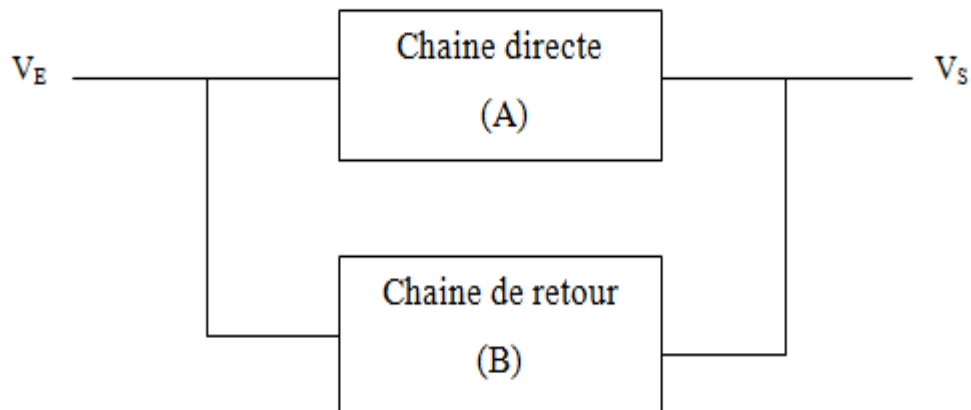
### **II.3.2 Composants passifs**

Un composant est dit passif lorsqu'il ne permet pas d'augmenter la puissance d'un signal, dans certains cas, le composant réduit la puissance disponible en sortie, souvent par effet Joule : résistance, condensateur, bobine ainsi que tout assemblage de ces composants. De plus en plus apparaissent des composants qui sont des modules ou assemblages des composants actifs et passifs.

## **II.4 Les oscillateurs**

Un oscillateur sinusoïdal est un dispositif qui délivre une tension alternative

d'amplitude et de fréquence donnée, et il se présente comme un système bouclé. La boucle réalise obligatoirement les fonctions d'un amplificateur qui est la chaîne directe et d'un quadripôle passif qui est la chaîne de retour: elle comporte d'une part des composants actifs comme les transistors, l'amplificateurs opérationnels...etc. pour réaliser la chaîne directe d'un gain A, et d'autre part des composants passifs (condensateur, bobine) pour assurer la chaîne de retour d'un gain B.



**Figure II. 1 : Schéma général d'un oscillateur sinusoïdal [5].**

La chaîne de retour est généralement un circuit résonnant. L'amplificateur (A) transforme la tension d'entrée  $V_E$  appliquée en une tension de sortie  $V_S$  suivante :

$$V_S = A \cdot V_E.$$

$$\text{Tel que } V_E = B \cdot V_S.$$

Avec :

A : le gain de la chaîne directe.

B : le gain de la chaîne de retour.

Théoriquement la condition nécessaire pour maintenir des oscillations est le critère de BARKHAUSEN d'où:

$$|A| \cdot |B| = 1.$$

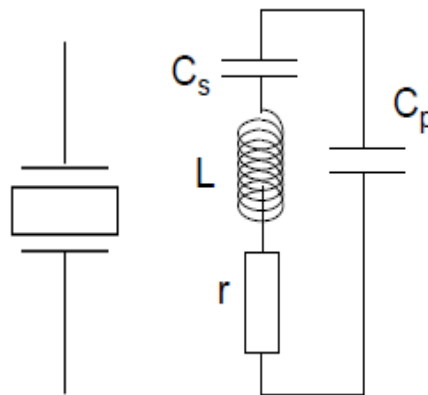
$$\text{Arg}(A \cdot B) = 0.$$

#### II.4.1 Le quartz [2]

Le quartz est un composant électrique passif de deux électrodes non polarisé, encapsulé généralement dans un boîtier métallique, Il est constitué d'un monocristallin  $\text{SiO}_2$  qui est un matériau piézoélectrique, sa fabrication nécessite des opérations délicates dans des conditions de pressions et de température précises.

Il nous permet de réaliser une source de fréquence ultra stable ,et de haute précision entre quelque dizaine de KHz et quelques 100MHz dans un intervalle de température donné , ce type d'oscillateur utilise des dispositifs qui ne sont pas purement électriques, pour produire des oscillations, ils sont basées sur l'effet piézo-électrique réversible des charges électriques injectées aux bornes de quartz provoquent la déformation du matériau qui fait apparaitre des charges électriques à la base des résonateurs à quartz.

Le quartz figure dans la réalisation des oscillateurs, l'horloge, les fréquencesmètres, les compteurs, et avec tous les composants temporels.



**Figure II. 2 : symbole et modèle électrique équivalent du quartz.**

L'impédance d'un quartz s'écrit sous la forme suivante :

$$Z(\omega) = R(\omega) + X(\omega).$$

Pulsation en mode série :

$$\omega_p = \sqrt{\frac{1}{L} \cdot \frac{1}{C_s}}$$

Pulsation en mode parallèle :

$$\omega_s = \sqrt{\frac{1}{L} \cdot \left( \frac{1}{C_s} + \frac{1}{C_p} \right)}$$

Pour calculer la bande passante d'un oscillateur à quartz :

- $f_p$  : fréquence en mode parallèle.

➤  $f_s$  : fréquence en mode série.

$$\Delta f = f_p - f_s$$

## II.4.2 Le principe de fonctionnement d'un Quartz

Dans notre circuit l'oscillateur à quartz permet de générer une tension alternative ayant une fréquence de 1.8MHz.

## II.5 Le transistor

Le transistor est un dispositif semi-conducteur à trois électrodes actives qui permettant de contrôler une tension ou un courant, utilisé comme un interrupteur dans les circuits logiques, un amplificateur de signal et même pour stabiliser une tension, et comme un modulateur du signal.

### II.5.1 Les types des transistors

#### II.5.1.1 Transistors MOS

Un transistor à effet de champ à grille isolé appelé aussi transistors MOS (métal-oxyde semi-conducteur) est un composant de trois bornes : la grille G, la source S, le drain D. On distingue les transistors MOS, à canal N et canal P, ils diffèrent par le sens des courants et la polarité des tensions, le sens de la flèche sur le symbole permet de distinguer les deux types.

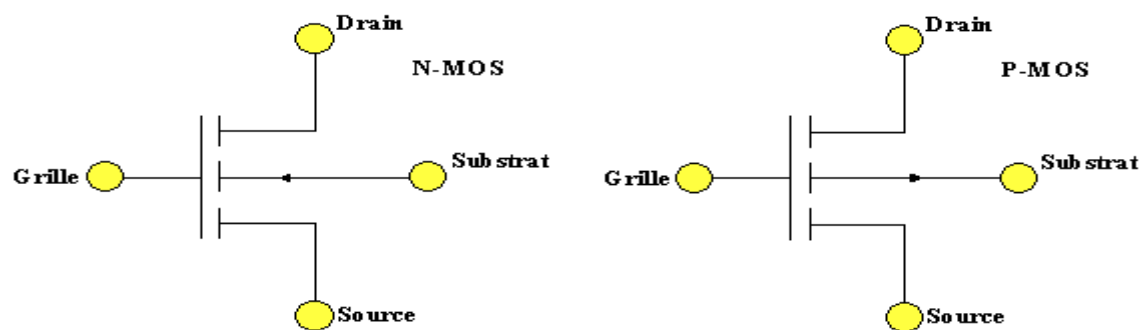


Figure II. 3: Types des Transistors MOS.

#### II.5.1.2 Transistor bipolaire [1]

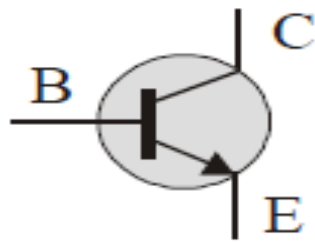
Le transistor bipolaire à jonction est un composant électronique constitué par deux jonctions de même type P ou N, séparées entre elles par une très mince jonction de type opposé, la différence entre les deux jonctions N et P est due au type d'impureté qu'il contient. Les deux jonctions externes sont appelées Emetteur (E), et Collecteur (C), et



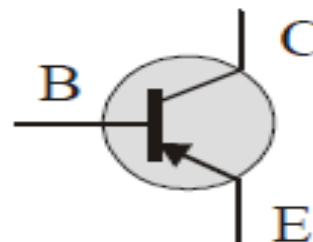
la jonction qui se trouve au milieu appelé Base(B), l'émetteur et le collecteur sont toujours du même type de conductibilité, tandis que la base est de type opposé, elle a une épaisseur très petit et très peu dopée, la jonction émetteur-base a une jonction plus faible que la jonction collecteur base , le transistor bipolaire est le plus utilisé dans les basses fréquences, et les faibles puissances.

**II.5.1.2.1 Les types d'un transistor bipolaire**

Il y'a deux types des transistors bipolaires NPN et PNP comme il est indiqué dans la figure II.4, le sens de la flèche correspond au sens passant de courant qui sort par la connexion d'émetteur, et indique ainsi si le transistor est du type NPN ou PNP, leurs comportements sont identiques aux signes des tensions et des intensités, les types NPN ayant généralement des caractéristiques meilleurs que les PNP, ils sont les plus utilisés.



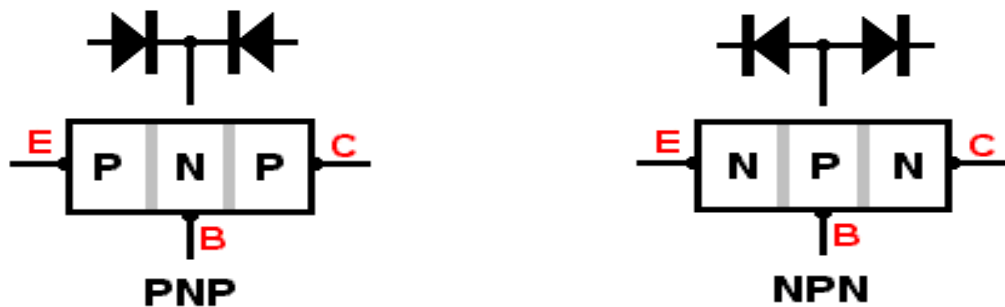
Le type NPN.



Le type PNP.

**Figure II. 4: Types et symboles électrique d'un transistor bipolaire.**

On peut assimiler un transistor par deux diodes à jonction en opposition selon la figure suivante:



**Figure II. 5 : Schéma équivalent d'un transistor par deux diodes.**

$I_B$  : le courant de base.

$I_C$  : le courant de collecteur.

$V_{CE}$  : la tension d'émetteur-collecteur.

$V_{BE}$  : la tension d'émetteur-base.

$V_{CC}$ : la tension d'alimentation.

Les trois tensions les plus usuelles indiquées par le transistor :

$$V_{CE} = V_{CB} + V_{BE}$$

Le transistor est un tripole pour lequel la loi des nœuds s'écrit :

$$I_E = I_B + I_C$$

Le courant de collecteur :

$$I_C = \beta \cdot I_B$$

Les fabricant nous précisent pour chaque type de transistor, des valeurs maximales à ne pas dépasser :

$V_{CEmax}$  : Tension émetteur collecteur maximal.

$I_{Cmax}$  : Courant de collecteur maximal.

$I_{Bmax}$  : Courant de base maximal.

$P_{max}$  : puissance dissipée maximal.

### II.5.1.2.2 La puissance dissipée [1]

La puissance  $P$  dissipée par les circuits d'entrée et de sortie du transistor :

$$P = V_{CE} \cdot I_C + V_{BE} \cdot I_B$$

Le terme «  $V_{BE} \cdot I_B$  » il est généralement négligeable devant le premier terme alors on la détermine par la formule :

$$P = V_{CE} \cdot I_C$$

Les relations mathématiques sont les mêmes dans les deux types sauf que le sens ou bien le passage de courant qui est différent.

### II.5.1.2.3 Le type PNP

Les porteurs de charge majoritaires qui sont les trous de l'émetteur dirigent vers le collecteur à travers la base, caractérisé par :

- Un gain de puissance qui est généralement entre 50 à 500.
- Une fréquence entre 50 à 150 MHz.
- La tension de polarisation :  $V_E < V_B < V_C$ .

### II.5.1.2.4 Le type NPN

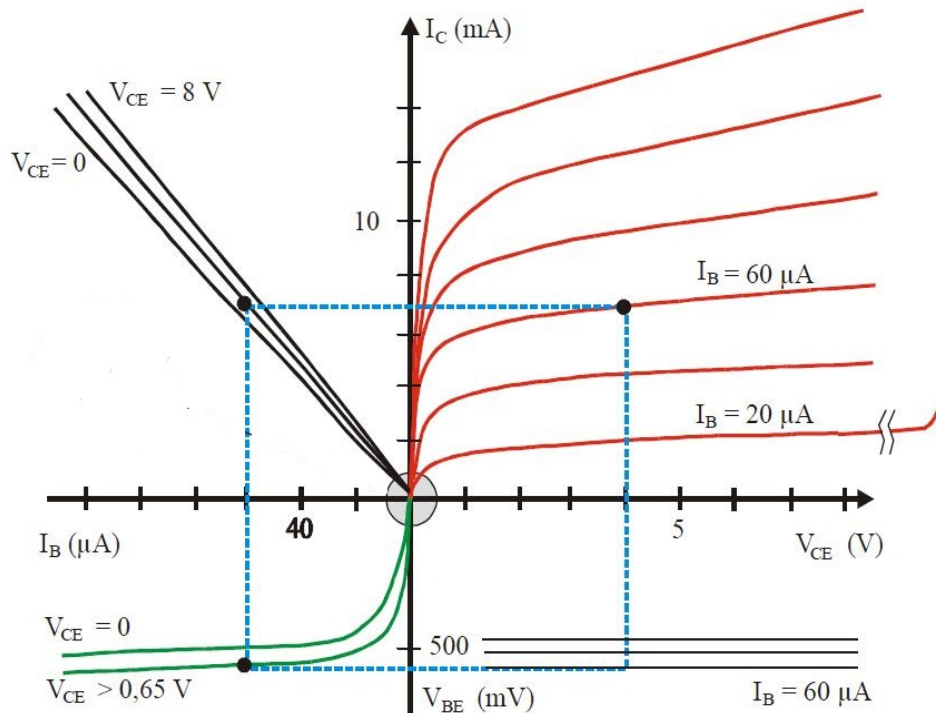
Les porteurs de charge majoritaires de collecteur qui sont les électrons diffusent

vers l'émetteur à travers la base, caractérisé par :

- Un gain de puissance qui est généralement entre 50 à 1000.
- Une fréquence entre 50 à 300 MHz.
- La tension de polarisation :  $V_E > V_B > V_C$ .

**II.5.2 Le Fonctionnement d'un transistor [1]**

Les caractéristiques statiques d'un transistor sont un ensemble de courbes représentant l'interdépendance qui existe entre tensions et courants continus d'un transistor.



**Figure II. 6 : Le réseau caractéristique d'un transistor.**

Les principaux réseaux d'un transistor on peut les classés selon les réseaux suivants:

**II.5.2.1 Réseau d'entrée**

C'est l'ensemble des courbes  $V_{BE}$ , tracées pour différentes valeurs de  $V_{CE}$  qui sont constante, la jonction base-émetteur est polarisée en direct de la courbe obtenue,  $V_{BE}$  varie très peu et reste voisin de la tension de seuil de la jonction.

**II.5.2.2 Réseau de transfert en courant**

C'est le réseau  $I_C = f(I_B)$  avec  $V_{CE}$  constante ce courbe il est presque linéaire passant par un courant de base  $I_B=0$  le courant  $I_C$  et pratiquement proportionnel à  $I_B$

avec  $I_C = \beta \cdot I_B$ .

### II.5.2.3 Réseau de sortie

C'est l'ensemble des courbes  $I_C = f(V_{CE})$ , tracées pour différentes valeurs, de  $I_B$  à partir de ce réseau on peut déterminer trois régions de fonctionnement d'un transistor qui sont : la région active, la région de saturation et la région d'avalanche (blocage).

#### II.5.2.3.1 Région de saturation

$V_{CE} < 0.25V$ .  $I_C$  varier linéairement avec  $V_{CE}$ .  $V_{CB} = V_{CE} - V_{EB}$ .

#### II.5.2.3.2 Région active

C'est la région où le courant  $I_C$  presque indépendant de la tension collecteur-émetteur lorsque  $V_{CE}$  atteint la valeur de saturation les caractéristiques sont pratiquement rectilignes, elles s'écartent légèrement l'une de l'autre quand  $V_{CE}$  croît, c'est une région d'amplification linéaire.

#### II.5.2.3.3 Région d'avalanche

Si la tension  $V_{CE}$  dépasse une valeur maximale imposé par le constructeur, il y'a claquage inverse de la jonction, il en résulte une croissance de courant avalanche.

### II.5.3 Le principe de fonctionnement de transistor [12]

Dans notre montage le transistor fonctionne comme un commutateur. Il est commandé par une impulsion de courant de base. Le transistor passe de l'état bloqué à l'état saturé en lui appliquant une impulsion positive de courant généré par le quartz. Le circuit de sortie comprend une résistance de charge  $R_3$  telle que la valeur du rapport  $\frac{V_{CC}}{R_3}$  soit inférieure à la valeur du courant de collecteur maximum supportable par le transistor  $\frac{V_{CC}}{R_3} = 15\text{mA} < 100\text{mA}$ .

Au départ le transistor est bloqué (état OFF).

- Le courant qui traverse le transistor est faible, la tension entre collecteur et émetteur vaut  $V_{CC}$ .

Lorsqu'on applique l'impulsion de courant sur la base, le transistor va quitter l'état bloqué (état OFF) pour atteindre l'état saturé. La tension collecteur-émetteur est pratiquement nulle (égale à  $V_{CE\text{sat}} = 0.2$  à  $0.3$  V pour un transistor au silicium), le courant collecteur atteint alors la valeur:

$$I_C = \frac{V_{CC} - V_{CE\text{sat}}}{R_3} \approx \frac{V_{CC}}{R_3}$$

• Le courant qui traverse le transistor est important, la tension collecteur-émetteur est faible, on est en régime de faible impédance. L'amplitude minimale de courant de base pour obtenir la saturation est donc :  $I_B > I_C / \beta \approx \frac{V_{CC}}{\beta \cdot R_3}$ .

Les temps de commutation (switching time) sont les temps nécessaires au transistor pour passer d'un état à l'autre. Ils correspondent en première approximation aux temps d'établissement et de disparition de la charge stockée dans la base.

## II.6 Le circuit intégré

Le circuit intégré inventé par l'américain Jack Kilby, en 1958, est un dispositif constitué plusieurs fonctions électronique (portes logiques, transistors, des bascules, des compteurs, AOP...), dans un volume réduit qui facilite l'utilisation de plusieurs fonctions complexes dans un seul dispositif miniature, ils se présentent généralement dans un boîtier noir rectangulaire en plastique connecté par des pattes (14,16,18...pattes), on trouve toujours deux pattes l'une reliée à la masse et l'autre avec l'alimentation qui doit être entre deux valeurs min et max, il a l'avantage de consommer très peu d'énergie il y a deux types des circuits intégrés :

- a- Les circuits intégrés analogiques.
- b- Les circuits intégrés numériques.

## II.7 Les portes logiques

Les portes logiques se sont des circuits électroniques qui peuvent avoir deux états différents à leur sortie soit 0 soit 1 et dépend de la valeur du signal d'entrée.

- La tension 5V signifie le niveau haut qui est l'état logique 1.
- La tension 0V signifie le niveau bas qui est l'état logique 0.

Les fonctions logiques principales de base dans l'algèbre de Boole se sont les:

- Multiplication logique : la porte ET (AND).
- Addition logique : la porte OU (OR).
- Négation qui est la porte inverseuse NON (NOT).

## II.8 Les circuits numériques

Tout circuit numérique peut être réalisé à l'aide des fonctions logiques qui représentent un signal de sortie en fonction des variables d'entrée.

- La tension 5V signifie le niveau haut qui est état logique 1.

➤ La tension 0V signifie le niveau bas qui est état logique 0.

## II.9 La conversion au signal carré

### II.9.1 La porte logique NAND [3]

La porte logique NAND (NON-ET) contient deux entrées A et B avec une sortie S, réalisé par la fonction de multiplication qui est une porte AND(ET) suivie d'une fonction de complémentation par une porte inverseuse.

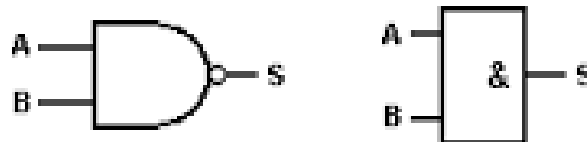


Figure II. 7: Le schéma qui représente la porte NAND.

Exemple

A	B	S(ET)	$\bar{S}$ (NON-ET)
0	0	0	1
0	1	0	1
1	0	1	1
1	1	1	0

Tableau II. 1 : Tableau de vérité de la porte NAND.

La porte NAND est constituée de quatre transistors dont deux n-MOS et deux p-MOS représenté comme suite :

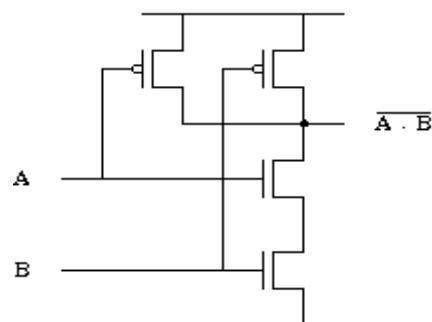


Figure II. 8 : Circuit interne d'une porte NAND [7].

## II.10La mise en forme du signal carré

### II.10.1La porte inverseuse [3]

C'est une porte logique qui possède une seule entrée A et une seule sortie S ( $\bar{A}$ ), sa fonction logique est simple, elle inverse le signal d'entrée, Si le signal est au niveau logique 1, le signal de sortie sera au niveau logique 0, son symbole est représenté par la figure ci-dessous :

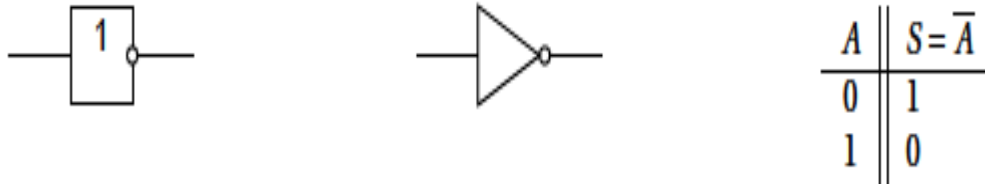


Figure II. 9 : Représentation schématique et table de vérité d'une porte NON.

La porte NON réalisée par un circuit constitué de deux transistors, un de type n et un de type p, avec des diodes et une résistance.

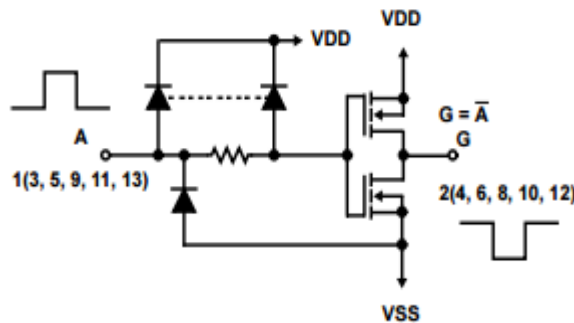


Figure II. 10 : Circuit interne d'une porte NON [8].

## II.11Conclusion

Dans ce chapitre nous avons définis les différents composants de base pouvant être introduit pour la réalisation de notre circuit. De même nous avons donné le principe de fonctionnement et le rôle de chaque circuit intégré et composant trouvés, plus particulièrement nous avons donné le principe de génération d'un signal carré, car la génération de ce signal a une importance pour notre réalisation.

## **Chapitre III :**

### ***Fonctionnement des étages variables.***



### **III.1 Introduction**

Chaque instrument de mesure donne des valeurs dans une gamme, comme notre circuit qui mesure les valeurs des inductances dans un intervalle de 10 $\mu$ H à 10mH.

De ceci on doit définir et déterminer le principe de fonctionnement des étages de ce circuit qui nous permettent d'appliquer la tension sur la bobine, et de donner, et régler la valeur d'inductance. Dans ce chapitre on donne le fonctionnement des différents étages qui nous permettent de faire la mesure d'une inductance caractérisant une bobine.

- Etage de calibrage de mesure.
- Etage diviseur par 2.
- Etage de saturation.
- Etage de Filtrage et redressement.

### **III.2 Les circuits séquentiels**

Le terme circuit séquentiel est un terme générique qui englobe les circuits synchrones, et asynchrones. En logique combinatoire l'état de sortie est une fonction déterminée par l'état des entrées. En logique séquentielle l'état des entrées ne suffit pas toujours pour connaître l'état de la sortie. Il faut parfois connaître les états précédents.

Les fonctions principales des circuits séquentielles sont :

- Mémorisation.
- Comptage.
- Décalage.

Les circuits séquentiels fondamentaux sont :

- Bascules.
- Compteurs.
- Registres.
- Ram.

### **III.3 Le mode de fonctionnement**

Dans les circuits séquentiels on trouve toujours le mot synchrone et asynchrone qui peut être défini comme suite :

### III.3.1 Mode asynchrone [14]

À tout moment, les signaux d'entrée peuvent provoquer le changement d'état des sorties après un certain retard qu'on appelle temps de réponse. Ces systèmes sont difficiles à concevoir et à dépanner.

### III.3.2 Mode synchrone [14]

Le moment exact où les sorties peuvent changer d'état est commandé par un signal d'horloge (train d'ondes carrées ou rectangulaires). Les changements d'état s'effectuent tous pendant une transition appelée front montant ou descendant.

## III.4 Les avantages principaux du mode synchrone

- Préparer les entrées sans perturber les sorties.
- Protéger des parasites survenant en entrée.

## III.5 Les bascules

Une bascule peut également être appelée bistable, est un dispositif susceptible de changer d'état logique sur commande, et de rester dans cet état jusqu'à apparition d'un autre signal de commande. Ce dispositif constitue donc une fonction mémoire, elle peut avoir deux états différents à sa sortie 0 et 1. Ce système passe de 0 à 1 sous l'effet des signaux appliqués aux entrées, il est caractérisé par un nombre d'entrées, et un type des signaux qui sont nécessaires pour faire basculer la bascule.

Donc Une bascule est un système séquentiel ayant :

- Un certain nombre d'entrées  $A_1, A_2, \dots$
- Une sortie ou exactement deux sorties  $Q$  et  $\bar{Q}$  qui prennent deux valeurs différentes :

$$\text{Si } Q = 0 \text{ alors } \bar{Q} = 1.$$

$$\text{Si } Q = 1 \text{ alors } \bar{Q} = 0.$$

### III.5.1 Les familles des bascules

#### III.5.1.1 Bascules de mémorisation

Elles possèdent les commandes de mise à zéro, mise à une mémorisation.

#### III.5.1.2 Bascules de comptage

Elles possèdent en outre une commande de changement d'état.

### III.5.2 Types des bascules

- Bascule RS.
- Bascule RST.
- Bascule D.
- Bascule JK.
- Bascule JKMS.

### III.6 Etage de calibrage de mesure

Pour réaliser un compteur il reste à trouver comment doivent être connectées les  $n$  bascules entre elles, sachant qu'il existe plusieurs types de compteurs, et donc plusieurs techniques de réalisation, ainsi par différents types des bascules.

#### III.6.1 Les compteurs [5]

Un compteur est un circuit électronique ou exactement un circuit séquentiel permettant d'établir une correspondance univoque entre le nombre d'impulsions appliquées sur son entrée d'horloge et l'état de sortie correspondant, il mémorise un nombre qu'ils mettent à jour soit à chaque cycle d'horloge, soit à la demande. Suivant le compteur.

Il utilise des bascules pour mémoriser les bits du nombre, ainsi que des multiplexeurs et des portes logiques pour mettre à jour ces bascules, L'état du comptage à chaque instant donné par la sortie des bascules, un compteur constitué de  $n$  bascules peut délivrer  $2^n$  combinaisons de sortie.

Le nombre d'états différents que peut prendre la valeur de sortie sur l'ensemble du cycle de comptage s'appelle modulo d'un compteur.

Tout compteur ne peut plus compter jusqu'à une certaine limite, et les compteurs se comportent différemment une fois cette limite atteinte. Pour cela on peut trouver deux types des compteurs qui fonctionnent d'une façon différente lorsqu'ils atteignent à une valeur maximale du comptage qui sont :

##### III.6.1.1 Les compteurs à saturation

Ce sont des compteurs qui restent bloqués sur cette valeur maximale tant qu'on ne les remet pas à zéro "manuellement".

### III.6.1.2 Les compteurs modulaires

Ce sont des compteurs qui recommencent à compter naturellement à partir de zéro lorsqu'ils atteignent la valeur maximale de comptage.

### III.6.2 Classification des compteurs [5]

En logique séquentielle, les compteurs peuvent être distingués par les caractéristiques suivantes :

#### III.6.2.1 Le sens de comptage [5]

Les compteurs (évolution croissante de la valeur de sortie dans le temps).

Les décompteurs (évolution décroissante de la valeur de sortie dans le temps).

#### III.6.2.2 Le code dans lequel est exprimée la valeur sortie [5]

- Les compteurs en binaire naturel.
- Les compteurs BCD.
- Les compteurs décimaux.
- Les compteurs en Code Gray.

#### III.6.2.3 Le type de basculement du compteur [5]

Il permet de différencier :

- Les compteurs asynchrones.
- Les compteurs synchrones.

#### III.6.2.4 Le nombre de bits en sortie, ou l'intervalle de la valeur de sortie [5]

Il permet de connaître l'ensemble des valeurs que peut prendre la valeur de sortie du compteur.

#### III.6.2.5 Le mode de comptage [5]

Il permet de différencier :

- Les compteurs à cycle complet.
- Les compteurs à cycle incomplet.

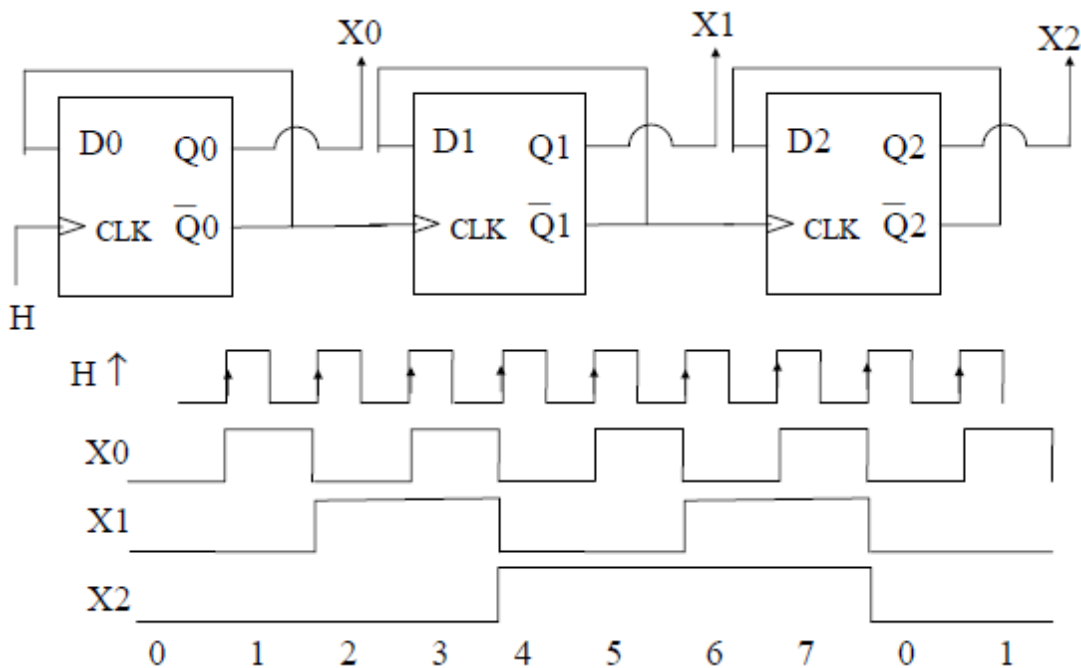
### III.6.3 Les compteurs asynchrones

Un compteur asynchrone possède un signal d'horloge, mais celui-ci ne sert qu'au déclenchement de la première bascule. Le signal d'horloge des bascules résulte d'une combinaison logique des autres bascules. La structure des compteurs asynchrones

permet de propager en cascade l'ordre de changement d'état des bascules.

**III.6.3.1 Compteurs binaires asynchrones à cycles complets**

Un compteur binaire à cycle complet sur n bits est constitué de n bascules et permet d'énumérer dans l'ordre les 2<sup>n</sup> valeurs du code binaire naturel. Les bascules sont montées en diviseur par 2 et cascades tel que: la première bascule est accordée par l'horloge du circuit CLK, et chaque bascule suivante utilise comme horloge la sortie  $\bar{Q}$  de la bascule précédente. Comme exemple, on prend figure III. 1qui présente un compteur asynchrone à cycle complet sur 3 bits.



**Figure III.1: Schéma interne et chronogramme d'un compteur asynchrone modulo 8 à cycle complet.**

A partir du chronogramme on remarque que :

- La bascule de sortie X0 doit changer sur chaque front montant de l'horloge.
- La bascule de sortie X1 doit changer à chaque fois que la sortie X0 de la bascule précédente passe de 1 à 0 c'est-à-dire le front descendant.
- La bascule de sortie X2 doit changer à chaque fois que la sortie X1 de la bascule précédente passe de 1 à 0 (front descendant).

Sur figure III.1 le chronogramme a été tracé à partir de l'état initial 000 correspondant à la valeur 0 en décimale, jusqu'à la valeur maximale 111 proportionnelle

à la valeur 7 en décimale de la 7<sup>ème</sup> impulsion d'horloge, et à la 8<sup>ème</sup> impulsion le compteur revient à son état initial, il recommence à partir de zéro une fois ce maximum atteint. On dit que le compteur est recyclé.

Les signaux logiques qui traversent les bascules constituant le compteur subissent un retard caractérisé par le temps de propagation  $t_{pd}$ , le chronogramme ne tient pas compte des temps de propagation dans les opérateurs. En pratique, la structure cascadée du compteur induit un cumul des retards entre l'horloge H et les sorties. Les temps de propagation sur les 3 sorties sont donnés par :

$$t_{pd}(H \rightarrow X_0) = t_{pd}(\text{CLK} \rightarrow Q_0)$$

$$t_{pd}(H \rightarrow X_1) = t_{pd}(H \rightarrow \overline{Q_0}) + t_{pd}(\overline{Q_0} \rightarrow X_1) = t_{pd}(\text{CLK} \rightarrow \overline{Q_0}) + t_{pd}(\text{CLK} \rightarrow Q_1)$$

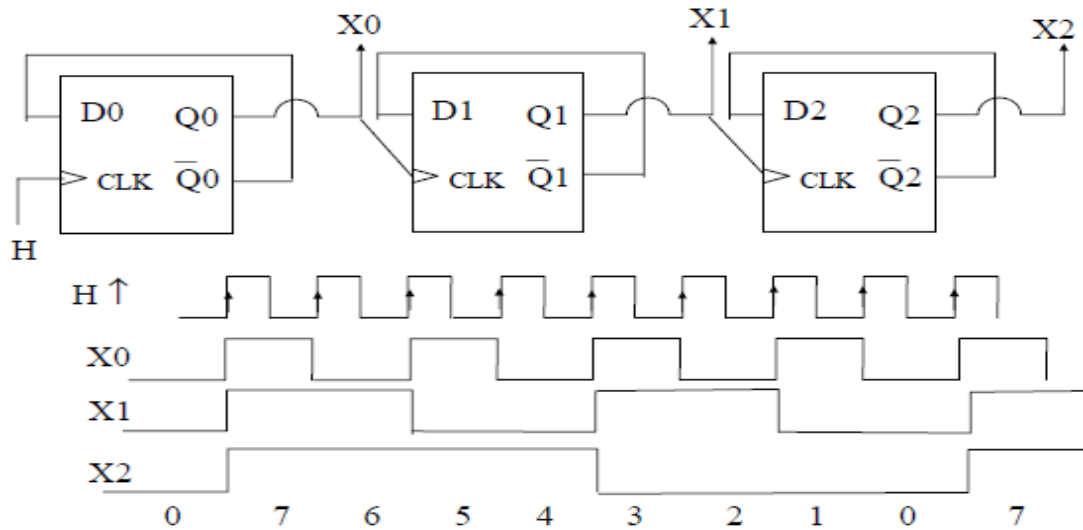
$$t_{pd}(H \rightarrow X_2) = t_{pd}(H \rightarrow \overline{Q_0}) + t_{pd}(\overline{Q_0} \rightarrow \overline{Q_1}) + t_{pd}(\overline{Q_1} \rightarrow \overline{Q_2})$$

$$= t_{pd}(\text{CLK} \rightarrow \overline{Q_0}) + t_{pd}(\text{CLK} \rightarrow \overline{Q_1}) + t_{pd}(\text{CLK} \rightarrow Q_2). [5]$$

Les temps de propagation s'ajoutant d'une bascule à la suivante, les compteurs asynchrones de grande taille sont relativement lents. D'autre part, le décalage des sorties les unes par rapport aux autres produit des étages transitoires indésirables après chaque front actif d'horloge [5].

On notera que ce compteur réalise également les fonctions de division de fréquence par deux (sorties  $X_1$  et  $\overline{Q_1}$ ), par 4 (sorties  $Q_2$  et  $\overline{Q_2}$ ), et par 8 (sorties  $Q_3$  et  $\overline{Q_3}$ ).

**III.6.3.2 Décodeurs binaires asynchrones à cycles complets**



**Figure III. 2 : Schéma interne et chronogramme d'un décodeur asynchrone modulo 8 à cycle complet.**

La structure du décodeur binaire est très proche de celle du compteur binaire : les bascules sont également utilisées en diviseur par deux et cascadiées. Pour le réaliser, il suffit de connecter chaque sortie complémentée d'une bascule à l'entrée CLK de la bascule suivante, et non la sortie  $\bar{Q}$  comme le compteur. La figure III. 2 donne la structure d'un décodeur sur 3 bits. Le chronogramme a été tracé à partir de l'état initial 000. Le décodeur énumère à l'envers le code binaire naturel sur 3 bits de manière cyclique.

**III.6.3.3 Les inconvénients des compteurs asynchrones**

Les compteurs asynchrones sont très simples pour les réaliser. En revanche, leur utilisation présente des inconvénients non négligeables qui résident dans :

- Vitesse de fonctionnement limitée car les temps de propagation s'ajoutent.
- Entre deux combinaisons stables, il peut apparaître une combinaison sans signification à cause des temps de propagation.
- Risque d'aléas de fonctionnement dans le cas de compteurs / décodeurs à cycles incomplets.

**III.6.4 Compteurs synchrones**

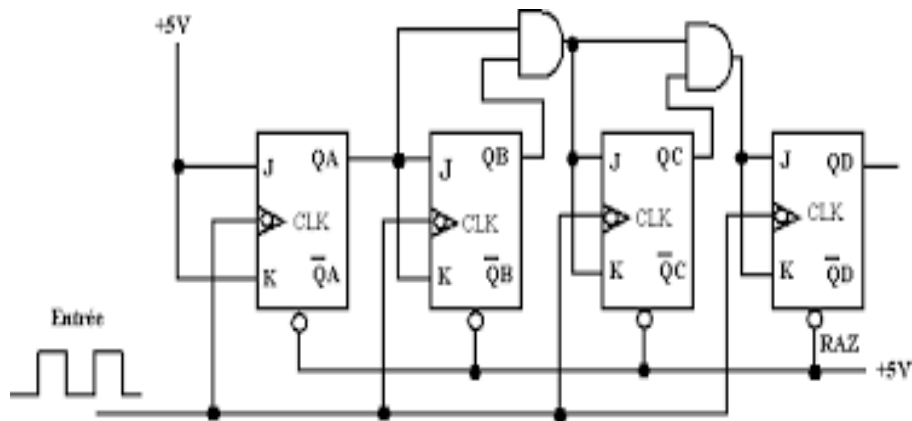
On a vu précédemment que l'association en cascade de bascules dans un compteur asynchrone entraîne des retards de propagation. Ces retards limitent la

fréquence maximale d'utilisation.

On contourne cette limitation en utilisant des compteurs synchrones ou parallèles, dans les quels toutes les bascules sont simultanément commandées par le même signal d'horloge.

A cette fin, toutes les bascules du compteur doivent être synchronisées par la même horloge.

La Figure III.3 présente un compteur synchrone modulo 16(2<sup>4</sup>) des bascules JK.



**Figure III. 3 : Schéma interne d'un compteur synchrone modulo 16 des bascules JK.**

#### III.6.4.1 Fonctionnement d'un compteur synchrone

La structure des compteurs synchrones est un peu plus complexe que celle des compteurs asynchrones. En revanche, il est possible de réaliser des compteurs couvrant une gamme beaucoup plus large de fonctions que par les compteurs asynchrones. Une méthode systématique unique permet de construire facilement des compteurs à cycle complet, à cycle incomplet, des décompteurs, ou de mettre en œuvre des énumérations autres que le comptage binaire naturel. Toutes les bascules commutent simultanément et la vitesse de fonctionnement est plus rapide, la fonction de comptage est réalisée par l'intermédiaire des fonctions appliquées sur les entrées synchrones des bascules.

La réalisation d'un compteur à N états nécessite, comme dans le cas des compteurs asynchrones, n bascules, avec  $2^n - 1 < N \leq 2^n$ . Il est réalisé par des bascules de type JK, T, ou D.

La construction du compteur passe par l'écriture de sa table de transition, c'est-à-dire la table donnant pour chaque état du compteur l'état suivant correspondant. Cette table permet ensuite de calculer l'équation logique de l'entrée D de chaque bascule en



fonction des sorties Q de l'ensemble des bascules. On prend un exemple d'un compteur binaire synchrone à cycle complet modulo 8 réalisé par les bascules D. La table de transition réduite du compteur binaire modulo 8 est donnée par le tableau III.1. On n'y fait apparaître que le fonctionnement purement synchrone du compteur, c'est-à-dire son comportement au moment des fronts montants d'horloge.

Q <sub>3</sub>	Q <sub>2</sub>	Q <sub>1</sub>	Q <sub>3</sub> <sup>+</sup>	Q <sub>2</sub> <sup>+</sup>	Q <sub>1</sub> <sup>+</sup>	D <sub>3</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>1</sub>
0	0	0	0	0	1	0	0	1
0	0	1	0	1	0	0	1	0
0	1	0	0	1	1	0	1	1
0	1	1	1	0	0	1	0	0
1	0	0	1	0	1	1	0	1
1	0	1	1	1	0	1	1	0
1	1	0	1	1	1	1	1	1
1	1	1	0	0	0	0	0	0

Tableau III. 1 :Table de transition réduite d'un compteur binaire modulo 8.

$$D_1 = \overline{Q_1}$$

$$D_2 = Q_2 \oplus Q_1.$$

$$D_3 = Q_3 \oplus (Q_2 \cdot Q_1)$$

### III.6.5Le circuit intégré 4518 [9]

Le CD 4518 est un circuit intégré utilisant la technologie CMOS dans un boîtier de 16 pattes, c'est un ensemble de deux compteurs identiques chacun séparé de l'autre, chaque compteur a deux entrées C et R et quatre sorties Q qui signifie qu'il est réalisé par 4 bascules, la broche 16 reliée avec l'alimentation V<sub>DD</sub>, la broche 8 avec la masse V<sub>SS</sub>, son schéma est présenté par la figure ci-dessous :

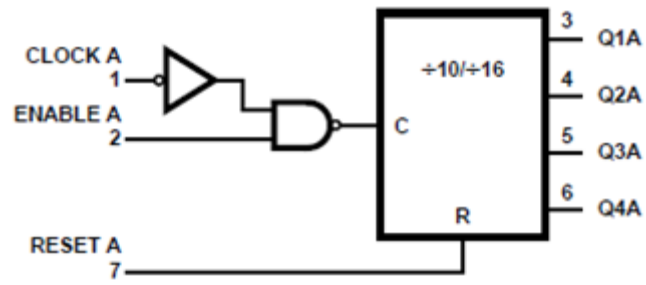


Figure III. 4 : Le diagramme fonctionnel de CI4518 [9].

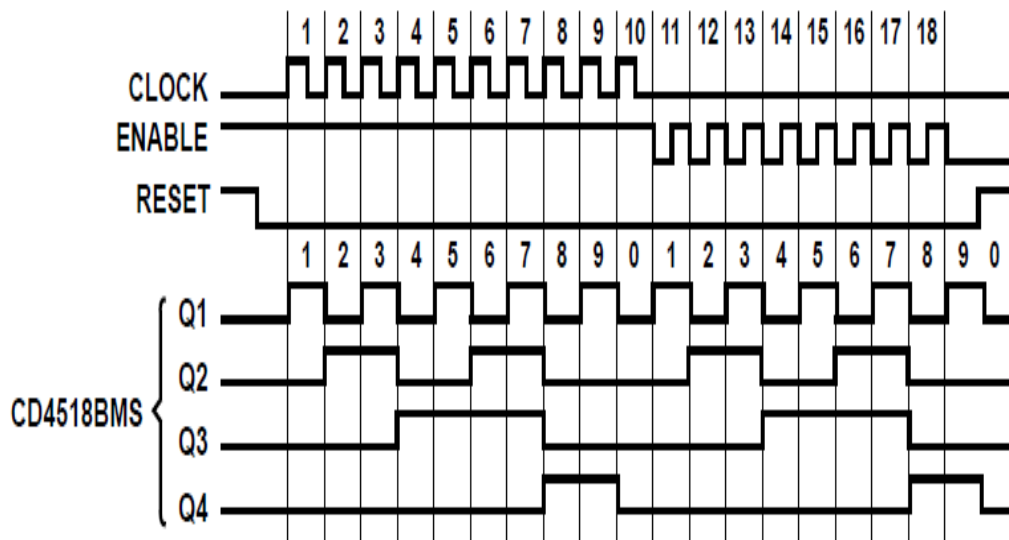


Figure III. 5: Chronogramme de CI4518 [9].

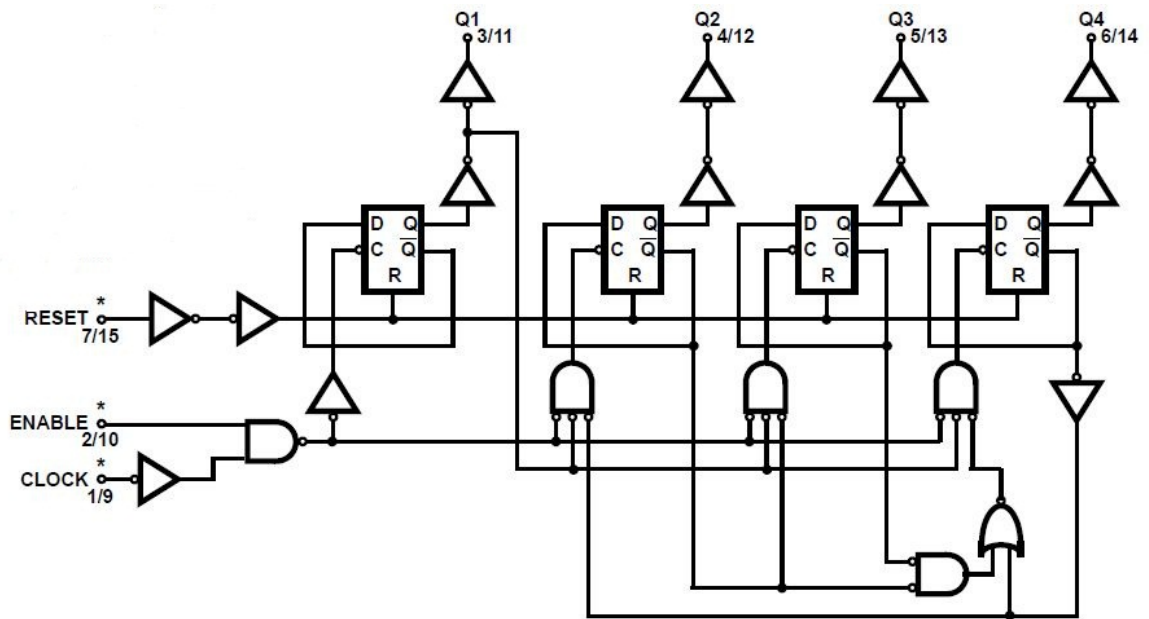


Figure III. 6 : Diagramme logique d'un compteur [9].

### III.6.6 Le principe de fonctionnement de CD4518

A partir de circuit interne 4518, et la façon qu'il est connecté on peut conclure que nos compteurs se sont des compteurs asynchrone car les bascules sont montées en diviseur par 2 et cascadiées.

Lorsque on applique une fréquence de 1.8MHz sur la patte 2 ENABLE correspondante à la position 1, le premier compteur va diviser la fréquence par 10 (180KHz) et injecte cette fréquence sur la patte 6 de ce compteur on est sur la position 2. Ensuite on va la connectée avec le ENABLE du deuxième compteur qui va aussi diviser la fréquence par 10 (18KHz) pour la deuxième fois et la délivré sur la patte 14 correspondante à la position 3. On utilise cet étage pour calibrer la mesure de l'inductance en trois, pour cela on a utilisé le circuit intégré CD4518 qui nous permet de calibré notre mesure.

- La position 1 est utilisée pour mesurer les inductances dont la valeur ne dépasse pas 100  $\mu\text{H}$ .
- La position 2 est utilisée pour mesurer les inductances dont la valeur ne dépasse pas 1 mH.
- La position 3 est utilisée pour mesurer les inductances dont la valeur ne dépasse pas 10 mH.

### III.7 Etage diviseur de fréquence par deux

#### III.7.1 Diviseur par 2

La fonction de division de fréquence la plus simple (comptage aussi), utilisée par une seule bascule, est obtenue en connectant une Bascule D comme indiqué sur la figure III.7.

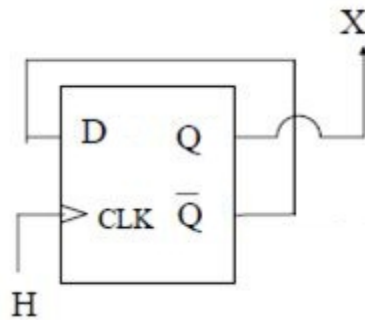


Figure III. 7 : Bascule D monté en division.

La valeur de  $D = \bar{Q}$  est recopiée sur Q qui s'inverse, donc la sortie Q change ainsi de valeur à chaque front actif de l'horloge.

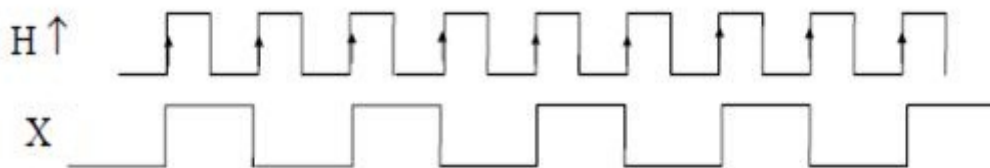


Figure III. 8 : Chronogramme d'une bascule D.

Ce montage est plus couramment appelé diviseur par 2 car les sorties des bascules, Q et  $\bar{Q}$  sont des signaux de fréquence  $\frac{f}{2}$ , tel que f est la fréquence de signal l'horloge H. ces signaux sont, de plus de rapport cyclique 1/2 car les durées des niveaux hauts et bas sont égales.

#### III.7.2 Le principe de fonctionnement de la première bascule de CD4013

La première bascule de CD4013 prend le rôle d'un diviseur de fréquence par deux du signal délivré par le circuit intégré 4518, et l'appliquée sur une porte NAND de circuit intégré 4518 qui va aussi appliquée cette tension (fréquence) sur la bobine de mesure.

### III.8 Etage de Saturation

#### III.8.1 Bascule D flip-flop

Cette bascule caractérisée par deux entrées D et CLK, et deux sorties Q et  $\bar{Q}$ .  
Son fonctionnement peut se résumer par le tableau III.2:

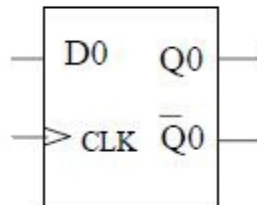


Figure III. 9 : Bascule D flip-flop.

CLK	D	R	S	Q	$\bar{Q}$
1	0	0	0	0	1
1	1	0	0	1	0
0	X	0	0	Q	$\bar{Q}$
X	X	1	0	0	1
X	X	0	1	1	0
X	X	1	1	1	1

X : il peut prendre les deux valeurs soit 0 soit 1.

Tableau III. 2 : Tableau logique d'une bascule D.

### III.8.2 Principe de fonctionnement de la deuxième bascule de CD4013

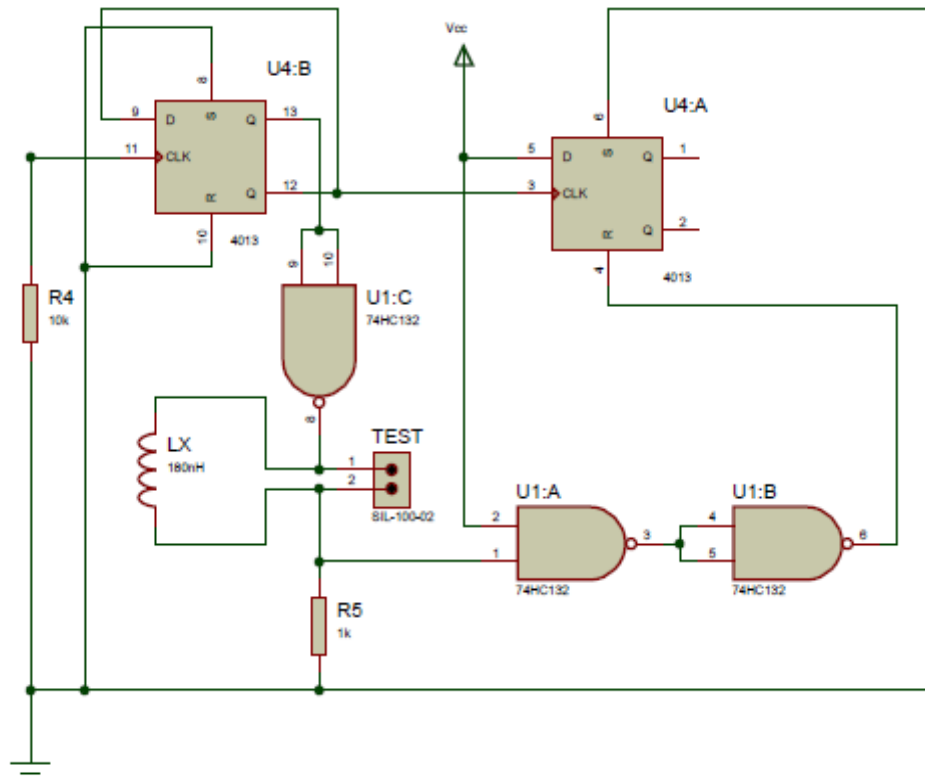


Figure III. 10 :Deuxième bascule de CD4518.

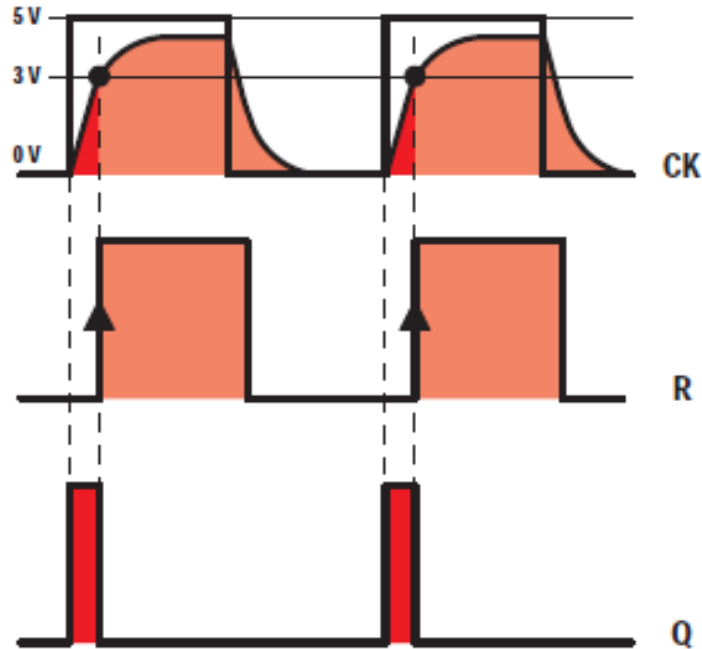
Cet étage basé sur la deuxième bascule D du circuit intégré CD4013. La résistance R5 qui est reliée en série avec l'inductance atteindra une tension maximale en un temps proportionnel à la valeur de l'inductance. Lorsque la tension qui l'alimente atteindra une valeur d'environ 3v, il commutera le niveau logique de la sortie du NAND (U1.A) de 1 à 0. Le NAND (U1.B) utilisé comme inverseur. Quand on trouve sur son entrée un niveau logique 0, on retrouve sur sa sortie un niveau logique 1 et vice-versa. Ce signal est ensuite appliqué sur la broche R du Flip-Flop qui va commander le signal de sortie Q par la remise à 0.

### III.8.3 Fonctionnement de la deuxième bascule de CD4013 selon l'inductance mesurée

#### III.8.3.1 Les faibles valeurs

Si l'inductance a une faible valeur en  $\mu\text{H}$  ou en  $\text{mH}$ , il lui faudra moins de temps pour pouvoir atteindre le seuil de 3 volts (figure III.11). Dans ce cas, le front montant du

signal carré qui arrive sur la broche R du Flip-Flop fournira en sortie de la broche Q un signal carré très étroit comme il est indiqué dans la figure III.11.



**Figure III. 11 : Les signaux de sortie et des entrées d'une bascule D pour une faible valeur d'inductance.**

### III.8.3.2 Les valeurs élevées

Si l'inductance a une valeur élevée en  $\mu\text{H}$  ou en  $\text{mH}$ , il lui faudra plus de temps pour pouvoir atteindre le seuil de 3 volts. Le front montant du signal carré qui arrive sur la broche R du Flip-Flop, fournira en sortie de la broche Q un signal carré plus large comme il est indiqué dans la figure III.12. C'est pourquoi la largeur positive du signal carré sortant de la broche Q est strictement proportionnelle à la valeur de l'inductance reliée en série à la résistance R5(voir le circuit électrique).

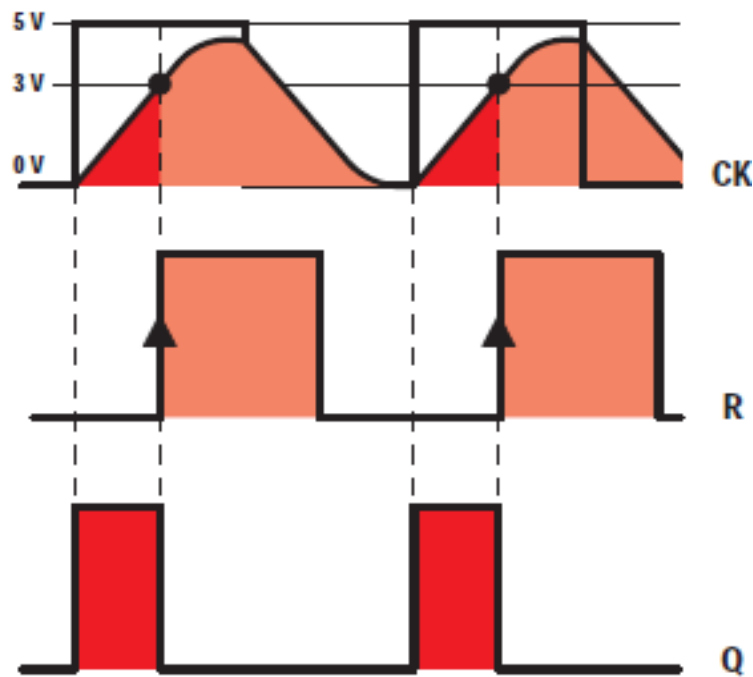


Figure III. 12: Les signaux de sortie et des entrées d'une bascule D dans le cas d'une valeur d'inductance élevée.

### III.9 Etage de filtrage et redressement (intégration)

Un filtre est un circuit électronique qui réalise une opération de traitement du signal, il permet d'atténuer certaines composantes d'un signal et laisse passer d'autres.

Il existe plusieurs types de filtrage, dont les plus connus sont :

- Filtre passe-haut.
- Filtre passe-bas.
- Filtre passe-bande.
- Filtre réjecteur de bande.

#### III.9.1 Les caractéristiques de chaque type de filtrage

##### III.9.1.1 Filtre passe-haut

On pourrait l'appeler aussi coupe-bas, parce qu'il ne laisse passer que les fréquences au-dessus d'une fréquence de coupure qui est la fréquence déterminée. Il atténue les basses fréquences. Autrement dit, il laisse passer ce qui est haut.

##### III.9.1.2 Filtre passe-bas

On pourrait l'appeler coupe-haut, parce qu'il ne laisse passer que les fréquences au-dessous de sa fréquence de coupure.



### III.9.1.3 Filtre passe-bande

Il ne laisse passer qu'une certaine bande de fréquences et atténue tout ce qui est au-dessus ou en-dessous. Il est très utilisé dans les récepteurs radio, tv... pour isoler le signal que l'on désire capter.

### III.9.1.4 Filtre réjecteur de bande

On pourrait l'appeler aussi filtre trappe, cloche ou coupe-bande, est le complémentaire du passe-bande. Il atténue une plage de fréquences. Cela peut être utile pour diminuer certains parasites par exemple.

## III.9.2 Les Filtres passifs

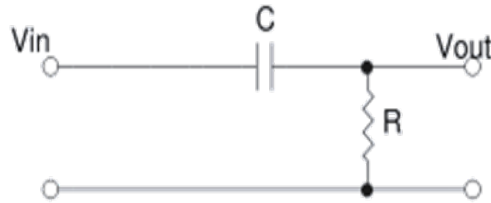
Un filtre passif se caractérise par l'usage des composants passifs : résistances, condensateurs, bobines. Par conséquent, leur gain ou bien leur rapport de puissance entre la sortie et l'entrée ne peut excéder 1. Ils ne peuvent qu'atténuer en partie des signaux, mais pas les amplifier.

Les réalisations les plus simples sont basées sur des circuits RC, RL, LC ou Circuit RLC (qui est très complexe par rapport aux autres dipôles). Ils peuvent exister dans toutes les gammes de fréquences.

Le filtre passe-haut et passe-bas réalisé par les mêmes composants ou bien par un dipôle RC, mais la différence entre ces deux types de filtrage est l'ordre de branchement des composants.

### III.9.2.1 Filtre passe-haut

Le concept de filtre passe-haut est d'atténuer les fréquences inférieures à sa fréquence de coupure  $f_c$ , dans le but de conserver uniquement les hautes fréquences. La manière la plus simple de réaliser ce filtre est d'utiliser un circuit RC. Comme il est indiqué dans la figure III.13, on doit respecter la position du dipôle RC, tel que les deux éléments sont placés en série avec une source d'entrée  $V_{IN}$  et une source de sortie  $V_{OUT}$  récupérée aux bornes de la résistance.



**Figure III. 13 : Filtre passe haut du premier ordre.**

Pour retrouver le gain de tension de ce filtre, en utilisant les impédances des éléments. Avec cette technique, le circuit devient un simple diviseur de tension, et on obtient cette formule :

$A_v$  : le gain de tension.

$V_{OUT}$  : La tension de sortie.

$V_{IN}$  : La tension d'entrée.

$$V_{OUT} = R \cdot I$$

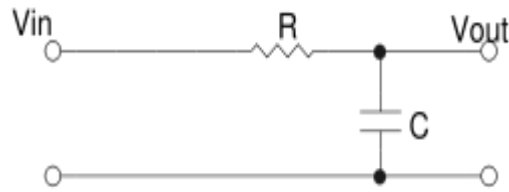
$$V_{IN} = R \cdot I + \frac{1}{jC_w} \cdot I$$

On déterminé la fonction de transfert par la formule suivante :

$$A_V = \frac{V_{OUT}}{V_{IN}} = \frac{j \cdot R \cdot C_w}{1 + j \cdot R \cdot C_w}$$

### III.9.2.2 Filtre passe bas du premier ordre

Le circuit est identique à celui du filtre passe-haut mais les positions de la résistance et du condensateur sont inversées. Ce concept de filtre passe-bas est d'atténuer les fréquences supérieures à sa fréquence de coupure  $f_c$ , dans le but de conserver uniquement les basses fréquences. La manière la plus simple pour réaliser ce type de filtrage est d'utiliser un circuit RC. Comme il est indiqué dans la figure III.14, constitué d'une résistance R et d'un condensateur C sont placés en série avec la source d'entrée  $V_{IN}$ , et le signal de sortie  $V_{OUT}$  est récupéré aux bornes du condensateur C.



**Figure III. 14 : Filtre passe bas du premier ordre.**

Pour retrouver le gain de tension de ce filtre, en utilisant les impédances des éléments.

Avec cette technique, le circuit devient un simple diviseur de tension, et on obtient cette formule :

$A_v$  : le gain de tension, la fonction de transfert

$V_{OUT}$  : La tension de sortie.

$V_{IN}$  : La tension d'entrée.

$f_c$ : Fréquence de coupure.

$$A_v = \frac{V_{OUT}}{V_{IN}} = \frac{1}{1 + j \cdot R \cdot C_w}$$

La fréquence de coupure correspondant à :

$$f_c = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C}$$

Alors on peut calculer la fréquence de coupure de notre montage par la formule précédente

On a

$R_6 = 1\text{K}\Omega$ .

$C_6 = 100\text{ nF}$ .

$$f_c = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 100 \cdot 10^{-9} \cdot 1 \cdot 10^3} = 159.235\text{KHz}$$

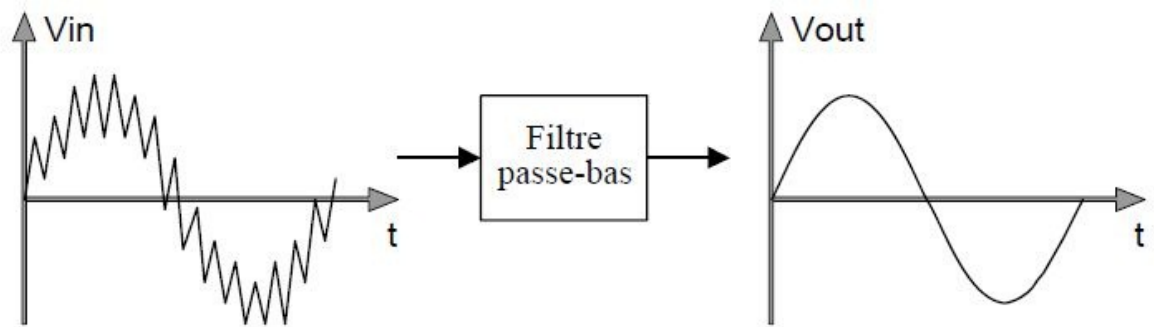


Figure III. 15 : La tension d'entrée et de sortie dans un filtre passe-bas.

### III.9.3 Redressement du signal filtré

Si on applique une tension alternative sur l'anode d'une diode on ne retrouvera que les demi-ondes positives sur la sortie.

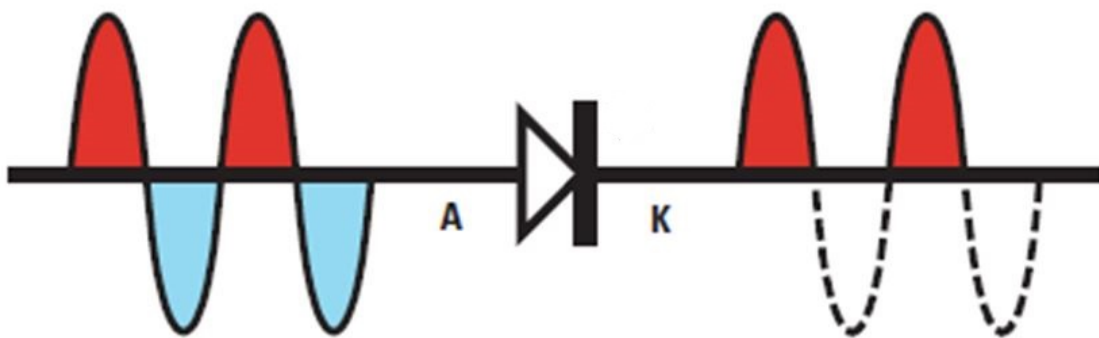
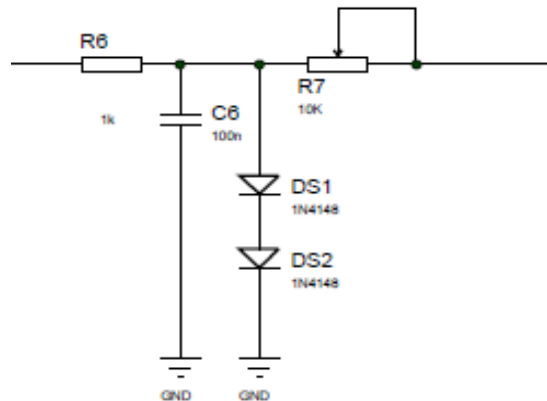


Figure III. 16 : Signal de redressement d'une diode.

### III.9.4 Le principe de fonctionnement d'étage de filtrage et redressement

Pour convertir les impulsions de taille variable, provenant de la sortie Q de la deuxième bascule de CI4013, en une tension continue, On a placé sur cette sortie Q, un circuit d'intégration, composé d'une résistance R6 et d'un condensateur C6. Si ces impulsions sont très étroites, on lira sur le multimètre une faible tension, mais plus ces impulsions s'élargiront, plus la valeur de la tension augmentera.



**Figure III.17 : Le circuit électrique de filtrage et de redressement.**

Après le circuit de filtrage on met deux diodes 1N4148 d'une polarisation directe en parallèle avec l'étage de filtrage (figure III.17) qui évitent d'envoyer violemment l'aiguille à fond d'échelle, si on utilise un multimètre analogique, pendant le calibrage du trimmer R7.

### III.10 Réglage de la valeur de l'inductance

Les trimmers R<sub>7</sub> et R<sub>8</sub> devront être réglés une seule fois pour la lecture à l'aide d'un multimètre sur le calibre 100 microampères on procède comme suite :

On prend une inductance de référence connue sur un intervalle de mesure de 10 $\mu$ H à 10mH, Ensuite on tourne le trimmer R<sub>7</sub> et R<sub>8</sub> jusqu'à stabiliser le multimètre sur la valeur d'inductance connue.

### III.11 Etage de mesure

Si tous les étages de circuit réalisés fonctionnent, après avoir réglé les trimmers l'instrument est prêt à l'utilisation. On peut lire la valeur de l'inductance sous forme de courant directement sur un multimètre réglé sur l'échelle 100 microampères continue tout en se référant à différentes positions :

- Si on est dans la position 1 on lit la valeur directement dont l'unité est le  $\mu$ H car la valeur mesurée est dans l'échelle utilisée.
- Si on est dans la position 2 on doit diviser la valeur affichée sur 100 dont l'unité est le mH car la valeur mesurée est supérieur à l'échelle utilisée. Dans la position 2 la valeur maximale est 1mH.

Alors pour indiquer la valeur de l'inductance à l'aide de la valeur du courant affiché, on doit faire la division par 100: pour cela on procède comme suite :

$$\begin{aligned}
 1\text{mH} &\longrightarrow 100\mu\text{A} \\
 X\text{mH} ? &\longrightarrow X\mu\text{A} \\
 X\text{mH} &= \frac{X\mu\text{A} \cdot 1\text{mH}}{100\mu\text{A}} = \frac{X}{100}
 \end{aligned}$$

➤ Si on est dans la position 3 on doit diviser la valeur affichée sur 10 dont l'unité est le mH car la valeur mesurée dépasse l'échelle utilisée. Dans la position 3 la valeur maximale est 10mH. Alors pour indiquer la valeur de l'inductance à l'aide de la valeur du courant affiché, on doit faire la division sur 10 (voir procédé suivant) :

$$\begin{aligned}
 10\text{mH} &\longrightarrow 100\mu\text{A} \\
 X\text{mH} ? &\longrightarrow X\mu\text{A} \\
 X\text{mH} &= \frac{X\mu\text{A} \cdot 10\text{mH}}{100\mu\text{A}} = \frac{X}{10}
 \end{aligned}$$

### III.12 Conclusion

Dans ce chapitre on a caractérisé les différentes portes logiques (fonctionnement, rôle...) ainsi que la méthode de mesure de la valeur de l'inductance à mesurer. On a présenté aussi le principe de calibrage pour faire une lecture de la valeur de l'inductance à mesurer.

## **Chapitre VI:**

*Réalisation pratique et  
fonctionnement du montage.*

### VI.1 Circuit électrique du montage

Le schéma électrique du dispositif réalisé est donné par la figure VI.1 :

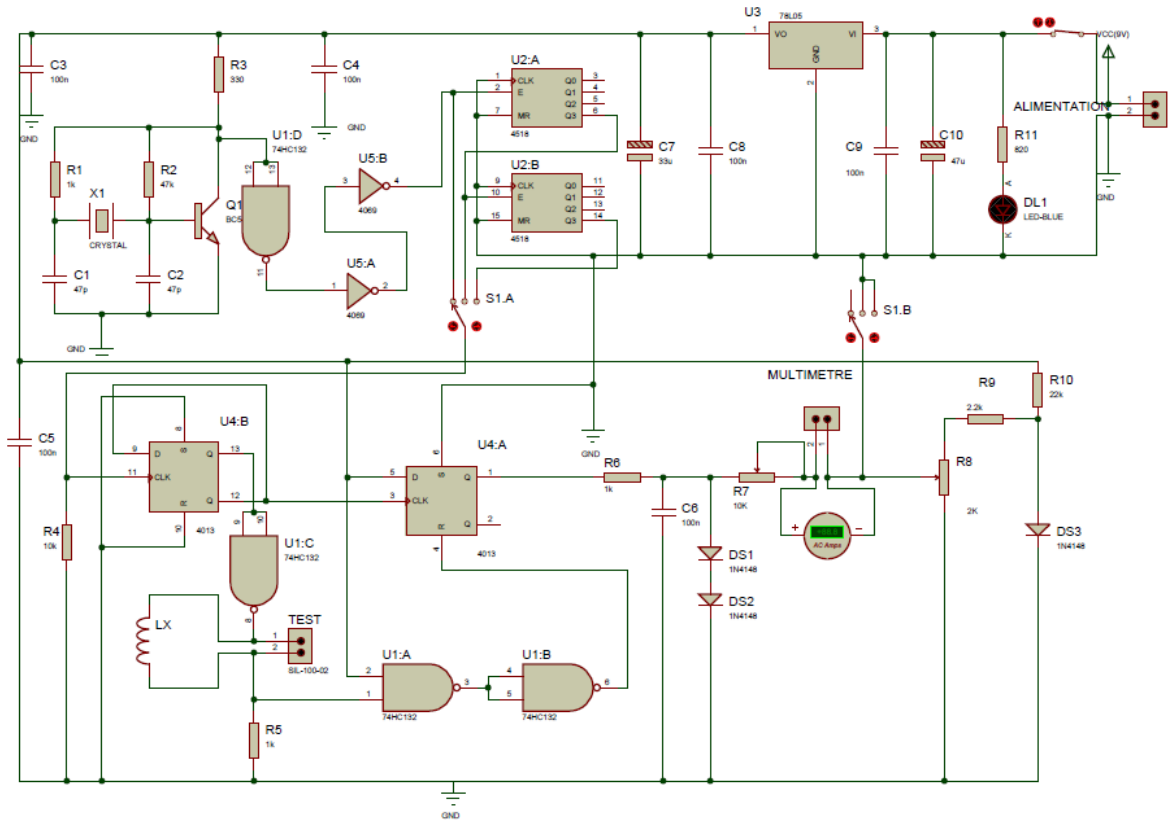


Figure VI. 1 : Circuit électrique du montage.

### VI.2 Fonctionnement du montage

Comme s'est indiqué selon le schéma synoptique ou dans le circuit électrique, la présence du courant mesuré nous permet d'obtenir une tension qui alimentera les portes N-AND U1.A et U1.B, la sortie de la dernière porte N-AND va attaquer la broche R du flip-flop de type D caractérisé par le circuit U4.A. Alors l'application du signal carré sur les deux entrées de U1.C va être tout d'abord prélevé sur la broche de sortie (position 8) du même circuit, ensuite il attaque l'inductance à mesurer (Lx) de valeur inconnue. Ceci se traduit par la présence d'un courant circulant à l'intérieur de cette inductance qui atteindra sa valeur maximale en un temps proportionnel à la valeur de l'inductance (voir figures III.11 et III.12). Ce signal va voir sa fréquence qui varie selon la valeur de l'inductance Lx, le signal utile pour la mesure provient d'un oscillateur à quartz X1 générant une fréquence stable. Ensuite ce signal attaque le transistor Q1 dont le collecteur est relié à la porte N-AND U1.D assurant la conversion du signal sinusoïdal en un signal carré (sortie de U1.D) on utilise le circuit de mise en forme de signal carré par deux portes inverseuses U5.A, U5.B. Ce signal dont la fréquence est toujours la même



que celle délivrée par le quartz est appliqué sur la position 1 du commutateur(S1.A),en même temps on le retrouve sur l'entrée (broche 2) de U2 (A,B) contenant deux étages diviseur par 10.Sur les broches 6 et 10 du même circuit (U2.A ,U2.B) on prélève un signal divisé par dix ( $\frac{1.8MHz}{10} = 180KHz$ ).Tandis que la broche 14 de U2.B de signal prélevé est divisé par cent ( $\frac{1.8MHz}{100} = 18KHz$ ), ces deux signaux sont appliqués directement sur les positions 2 et 3 du commutateur S1.A.

- La position 1 du commutateur S1.A est utilisée pour mesurer les Inductance dont la valeur ne dépasse pas 100 microhenry.
- La position 2 du commutateur S1.A est utilisée pour mesurer les Inductance dont la valeur ne dépasse pas 1 millihenry.
- La position 3 du commutateur S1.A est utilisée pour mesurer les Inductance dont la valeur ne dépasse pas 10 millihenry.

Le flip-flop U4.B permet également de diviser par deux la fréquence appliquée sur la broche d'entrée CLK du même circuit .Donc quand on se positionne sur la position1 du commutateur S1.A on retrouve sur les deux broches de sortie Q du flip-flop U4.B le signal ayant pour fréquence $\frac{1.8MHz}{2} = 0.9MHz$ .De même sur la position 2 du commutateur S1.A le signal de sortie U4.B aura pour fréquence $\frac{180KHz}{2}=90KHz$  et enfin sur la position 3 de S1.A la sortie de U4.B a pour fréquence $\frac{18KHz}{2} = 9KHz$ .

Pour transformer le signal carré provenant de la broche 1 de U4.A en une tension qui sort proportionnelle à sa largeur, on utilise un circuit d'intégration composé de la résistance R6 et du condensateur C6, les diodes DS1et DS2 placées en parallèle avec le condensateur C6 ont le rôle d'éviter le déplacement de l'aiguille à fond d'échelle si on utilise un multimètre analogique pendant le réglage de la résistance ajustable.

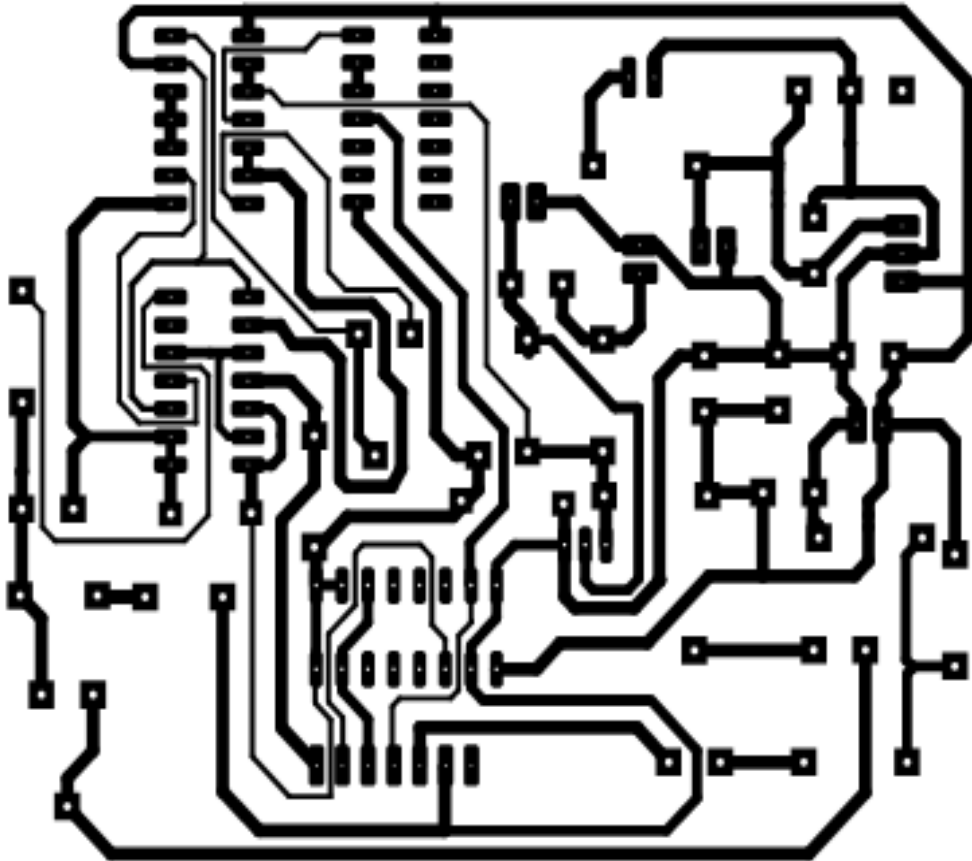
Comparaison des valeurs réelles d'inductance avec celles mesurées à l'aide de notre circuit :

Valeur réelle	Valeur mesurée par notre réalisation
18 $\mu$ H	15.7 $\mu$ H
65 $\mu$ H	67 $\mu$ H
475 $\mu$ H	475.3 $\mu$ H
10 mH	10mH

**Tableau VI.1 Comparaison entre les valeurs réelles et les valeurs de circuit réalisé.**

D'après les valeurs mesurées on peut dire que notre réalisation est plus ou moins fiable.

### VI.3Réalisation du circuit imprimé



PFE-5013-Bonsli lrcen

Figure VI. 2 : Circuit imprimé de la plaque électronique.

### VI.4Mesures pratiques et essais

Juste après la vérification du bon fonctionnement du circuit électronique, nous utilisons un oscilloscope pour relever des signaux dans différents points de notre montage électrique.

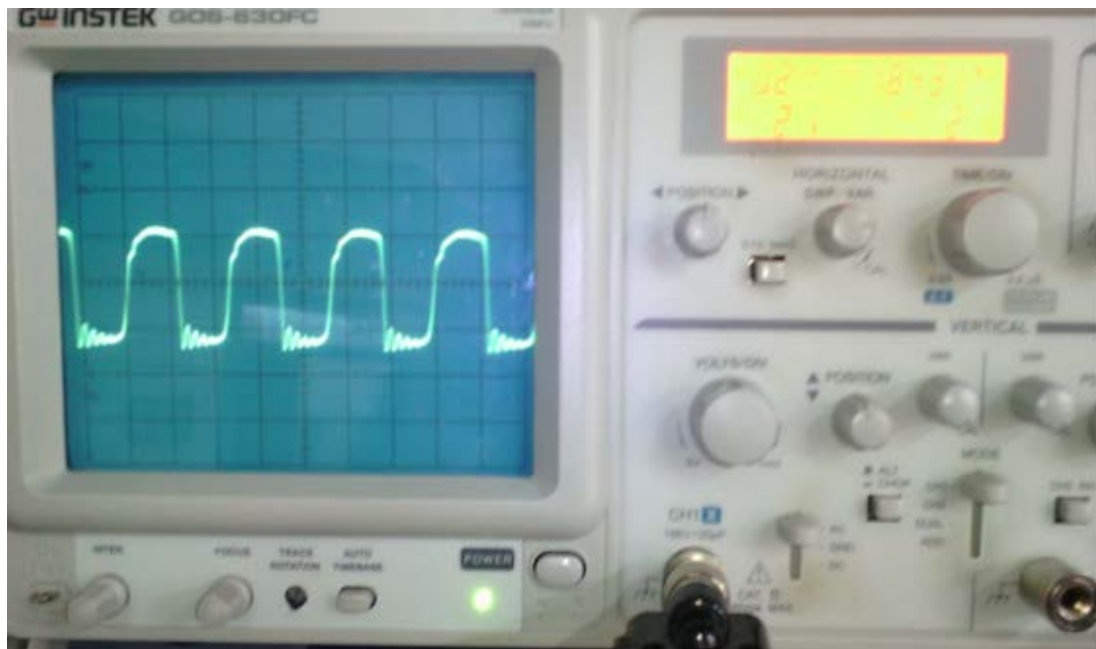


Figure VI. 3 :Le signal de sortie sur le collecteur de transistor BC547.

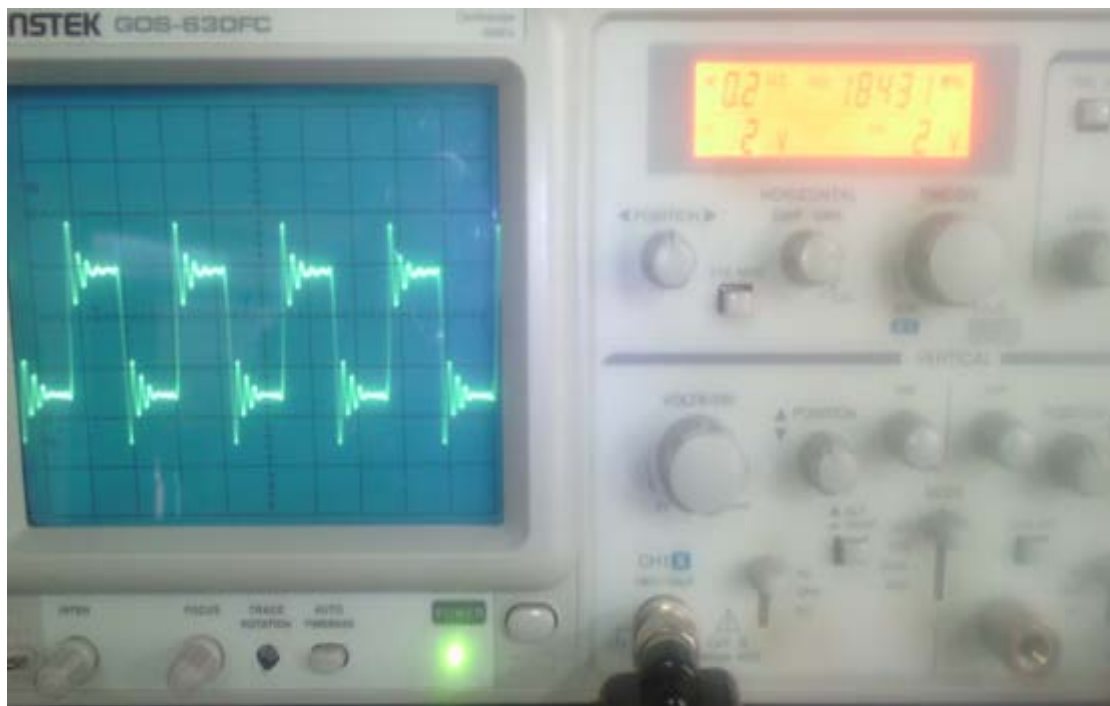


Figure VI. 4 :Le signal de sortie de porte NAND de TTL 74HC132.

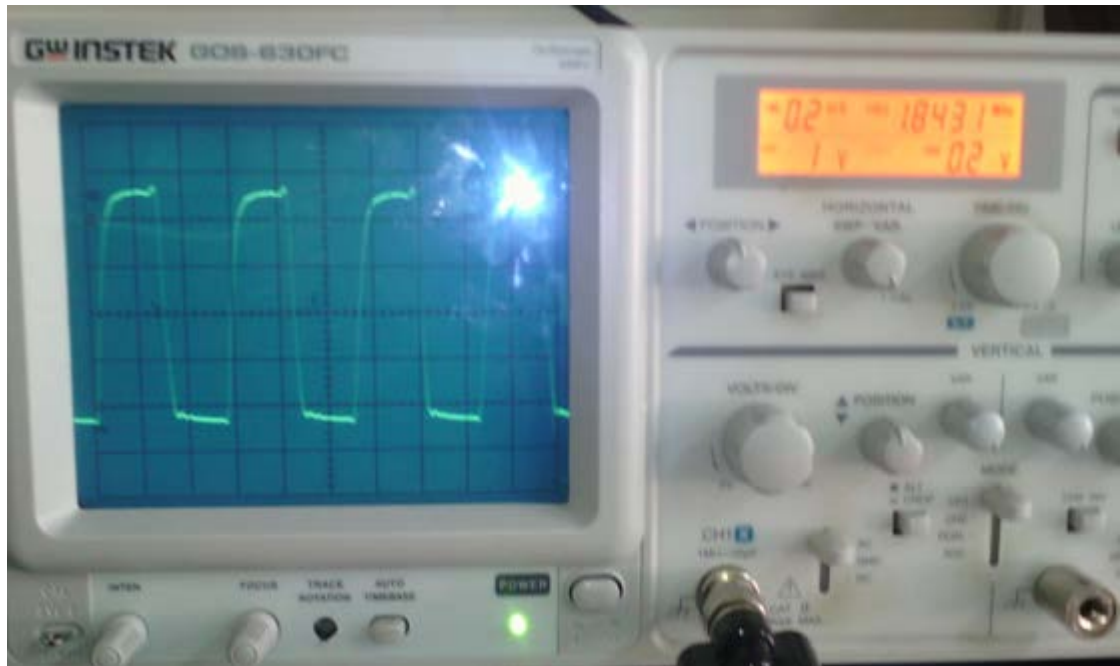


Figure VI. 5 :Le signal de mise en forme de CI4069 (position 1de CI4518).

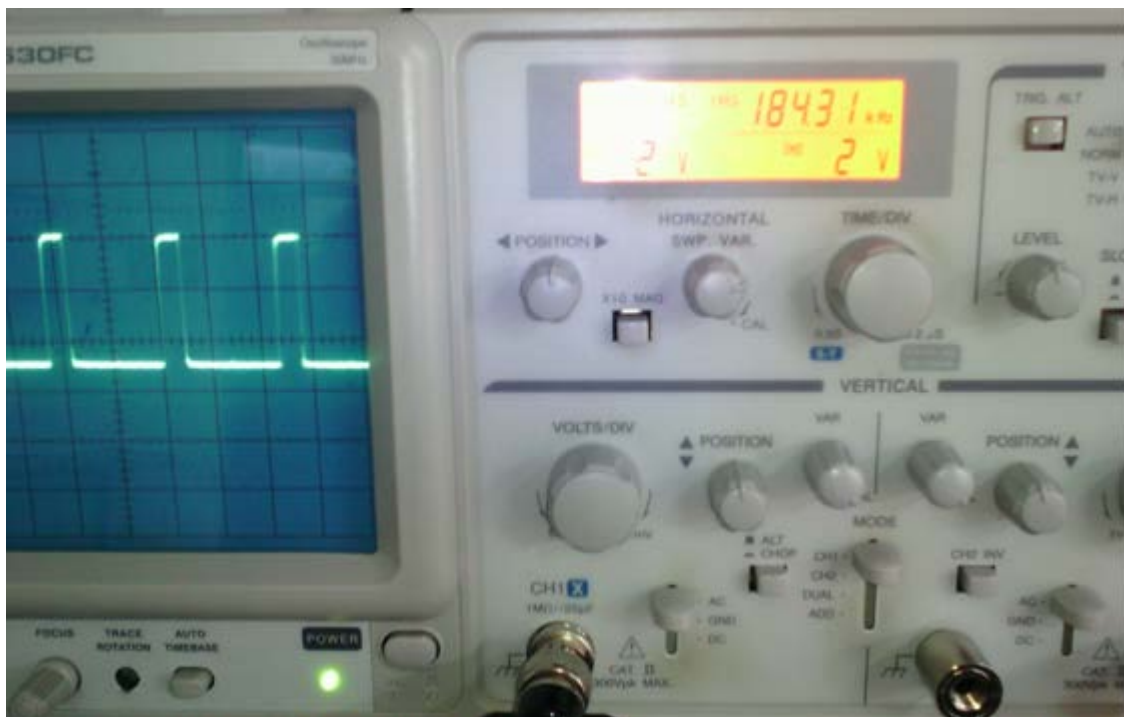


Figure VI. 6 :Le signal de sortie de la position 2 de CI4518.

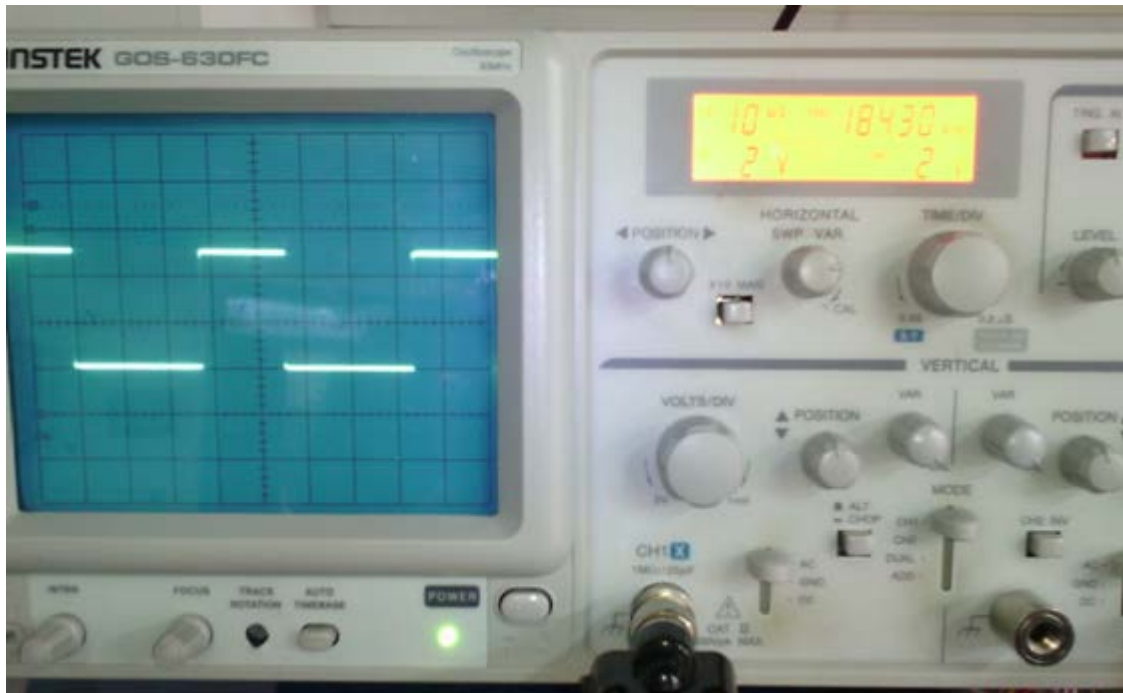


Figure VI. 7 :Le signal de sortie de la position 3 de CI4518.

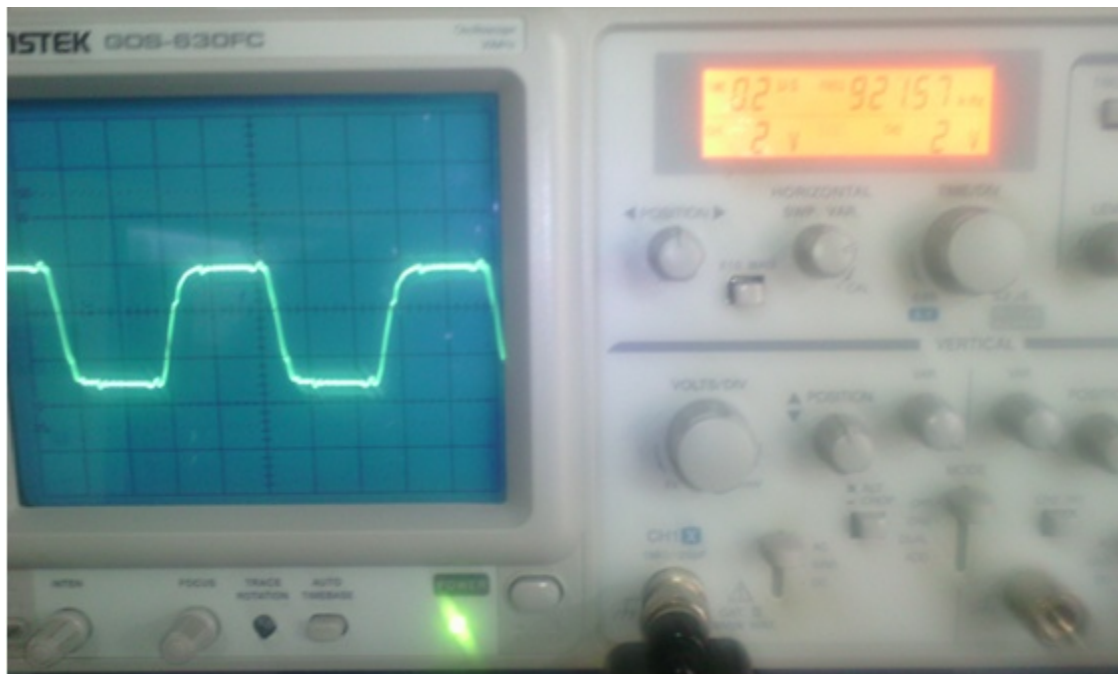


Figure VI. 8 : Le signal de sortie de diviseur par 2 de CI4013 correspondant à la position 1 de CI4518.





Figure VI. 9 :Le signal de sortie de diviseur par2 de CI 4013 correspondant à la position 2 de CI4518.

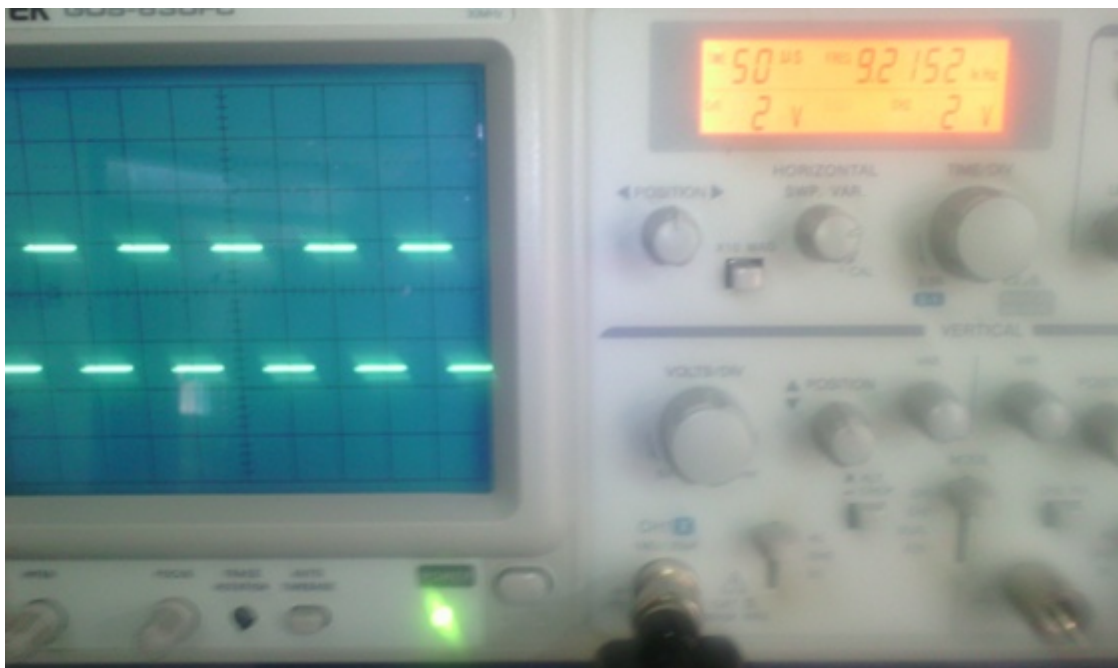


Figure VI. 10 :Le signal de sortie de diviseur par2 de CI4013 correspondant à la position 3 de CI4518.

***CONCLUSION GENERALE.***

## CONCLUSION GENERALE

Dans le cadre de notre projet de fin étude, notre but était de réaliser un instrument de mesure très intéressant, et qui doit être trouvé dans laboratoire d'électronique pour déterminé la valeur d'une inductance en partant d'une valeur minimal de 10 microhenry jusqu'à une valeur maximal de 10millihenry.

Au terme de ce travail mené dans le but d'un projet de fin d'étude, ayant un objectif principal « Etude et réalisation d'un Inductancemètre », nous avons étudié théoriquement et pratiquement les différents étages constituant le circuit.

Nous avons déterminé la valeur d'une inductance par l'application d'une tension de forme carrée avec une fréquence bien déterminée, puis on calcule le courant absorbé par la bobine qui atteint son maximum en un temps proportionnel à la valeur de l'inductance.

Les étages électroniques de circuit réaliser fonctionne en série, telle que chaque étage dépend de l'étage précédent.

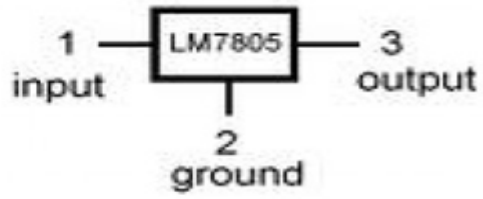
L'étage principal dans le circuit réalisé est l'étage de génération de signal carrée. Un circuit de mise en forme était nécessaire pour récupérer un signal purement carré. Ensuite nous avons utilisé des circuits numérique et séquentiel pour diviser la fréquence appliquée sur l'inductance et indiquer le courant absorbé.

Pour lire la valeur de l'inductance nous avons utilisé un multimètre qui permet d'afficher un courant de saturation proportionnel à la valeur de l'inductance.

Enfin, beaucoup d'amélioration peuvent être apportés à notre système, par exemple l'utilisation d'un microprocesseur, Arduino peut simplifier et perfectionner plusieurs fonctions dans le traitement numérique qui nécessite une connaissance de programmation.



**ANNEXE.**



Boitier de régulateur 75L05.

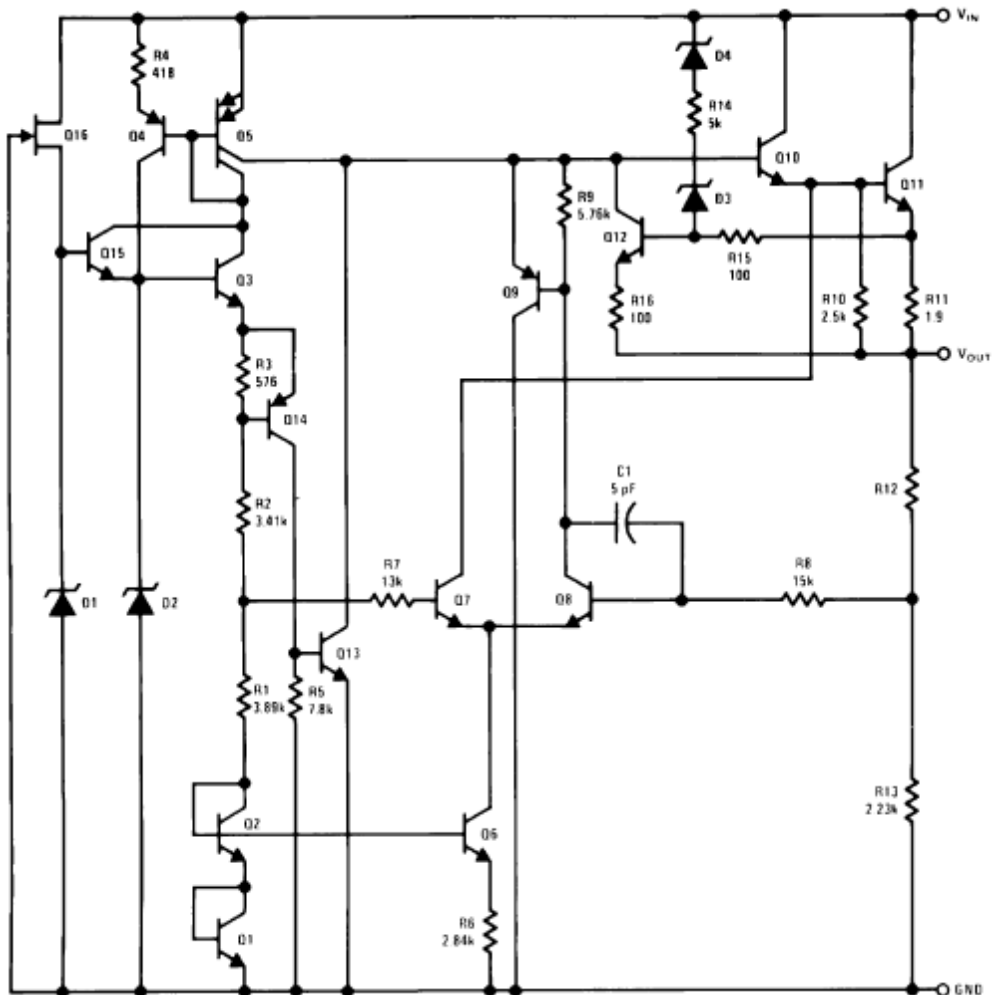
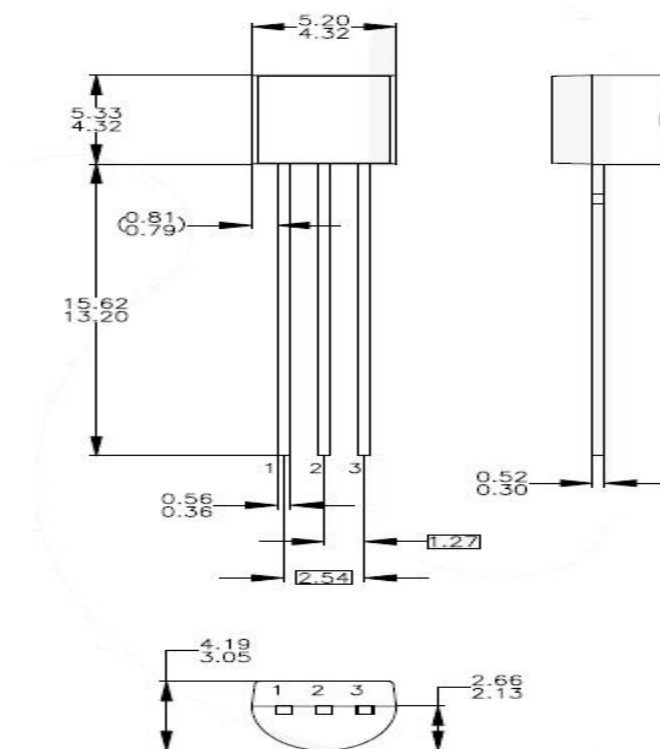


Diagramme interne de régulateur LM75LXX.

## Les caractéristiques de 75L05

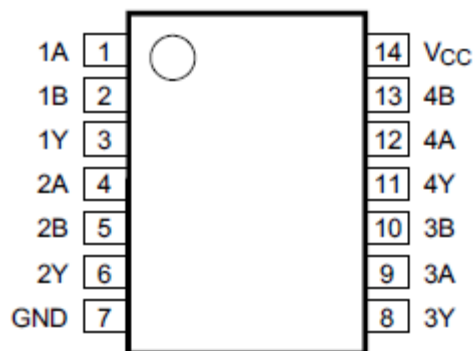
Les caractéristiques	Symbole	Approximation	Unité
Voltage d'entrée	$V_{IN}$	10	V
Voltage de sortie	$V_{OUT}$	4.8 à 5.2	V
Courant d'entrée	$I_{IN}$	10	V
L'intervalle de la température de stockage	$T_{STG}$	-65 à 150	C°



Boitier de transistor BC547.

## Les caractéristiques de transistor BC547

Les caractéristiques	Symbole	Valeur
La tension collecteur- émetteur	$V_{CE}$	45V
Le courant de collecteur	$I_C$	100Ma
La puissance dissipée maximal	$P_{Dmax}$	500Mw
La fréquence de transition	$F$	300MHz
Capacité d'entrée maximale	$C_{emax}$	6Pf
Capacité de sortie	$C_s$	9Pf
Gain en courant	$G_i$	110 à 220
La tension collecteur- émetteur de saturation	$V_{CE}$	250Mv
Le courant de la base	$I_b$	5mA
La tension base émetteur	$V_{BE}$	900mV
La température de fonctionnement	$T_F$	-65C° à 150C°



Boitier de circuit intégré TTL 74HC132.

## Les applications de TTL 74HC132

- Modèles de vagues et d'impulsions.
- Multivibrateurs Astable.
- Multivibrateurs monostables.

## Le circuit intégré TTL 74HC132

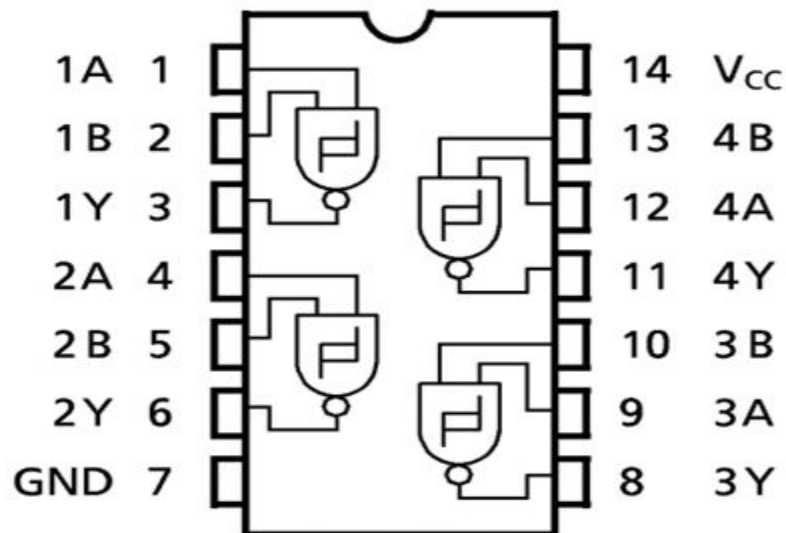
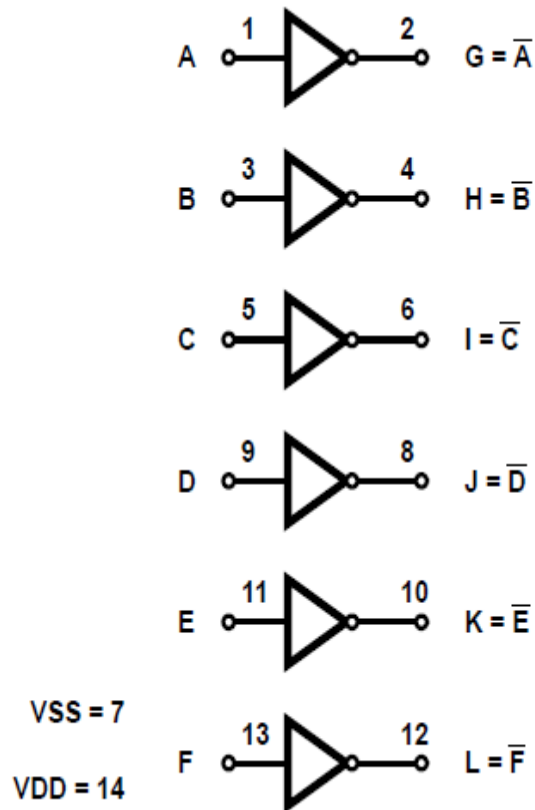
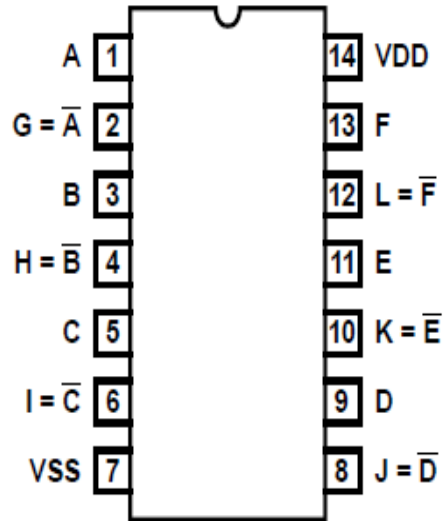


Diagramme logique de TTL 74HC132.

## Les caractéristiques de TTL 74HC132

Caractéristiques	Symbole	Approximation	Unité
DC voltage fourni	$V_{DD}$	2 à 6	V
Voltage d'entrée	$V_{IN}$	0 à $V_{DD}$	V
Voltage de sortie	$V_{OUT}$	0 à $V_{DD}$	V
Courant d'entrée	$I_{IN}$	20	Ma
L'énergie dissipée	$P_D$	500	mW
L'intervalle de la température ambiante	$T_{OP}$	-65 à 150	C°
L'intervalle de la température de stockage	$T_{STG}$	-40 à +125	C°

CD4069UBMS  
TOP VIEW



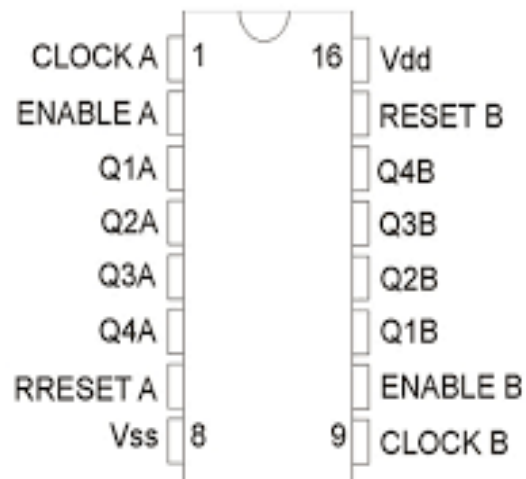
Boitier et circuit interne de CD4069.

## Les caractéristiques de porte inverseur CD4069

Caractéristiques	Symbole	Approximation	Unité
DC voltage fourni	$V_{DD}$	-0.5V à +20V	V
Voltage d'entrée	$V_{IN}$	-0.5V à $V_{DD} + 0.5V$	V
Courant d'entrée	$I_{IN}$	$\pm 10$	mA
L'énergie dissipée	$P_D$	100	mW
L'intervalle de la température ambiante	$T_{OP}$	-55 à +125	C°
L'intervalle de la température de stockage	$T_{STG}$	-65 à +150	C°

## Applications de CD4069

- Inversion logique.
- Mise en forme des impulsions.
- Oscillateurs.
- Amplificateurs haute impédance d'entrée.



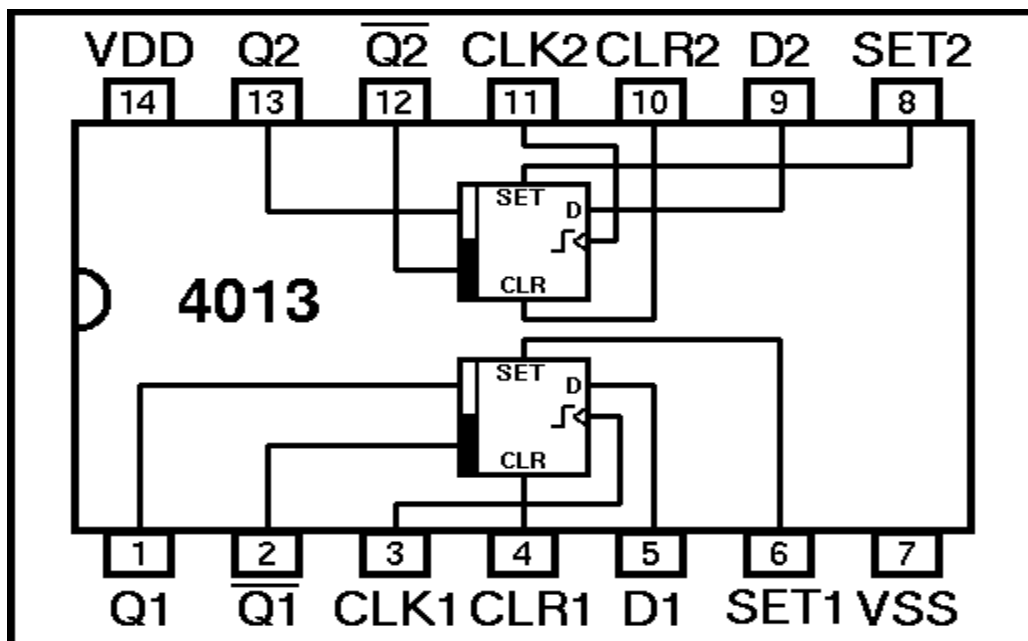
**Boitier de CD4518.**

## Les caractéristiques de CD4518

Caractéristiques	Symbole	Approximation	Unité
DC voltage fourni	$V_{DD}$	-0.5 à +20	V
Voltage d'entrée	$V_{IN}$	-0.5 à $V_{DD}$ +0.5	V
Courant d'entrée	$I_{IN}$	$\square 10$	mA
L'énergie dissipée	$P_D$	100	mW
L'intervalle de la température ambiante	$T_{OPR}$	-55 à +125	C°
L'intervalle de la température de stockage	$T_{STG}$	-65 à +150	C°

## Applications CD4518

- Compte synchrone à plusieurs étages.
- Compte à plusieurs étages d'ondulation.
- Diviseurs de fréquence.



Boîtier de CD4013.



## Les caractéristiques de CD 4013

Caractéristiques	Symbole	Approximation	Unité
DC voltage fourni	$V_{DD}$	- 0.5 to + 20 pour les HCC - 0.5 to + 18 pour les HCF	V
Voltage d'entrée	$V_{IN}$	0 à $V_{DD}+0.5$	V
Voltage de sortie	$V_{OUT}$	0 à $V_{DD}$	V
Courant d'entrée	$I_{IN}$	$\pm 10$	Ma
L'énergie dissipée	$P_D$	200	Mw
L'intervalle de la température d'opération	$T_{OP}$	- 55 à + 125 pour les HCC - 40 à + 85 pour les HCF	C°
L'intervalle de la température de stockage	$T_{STG}$	- 65 à + 150	C°

## Les applications de CD 4013

- Des véhicules à moteur.
- Système d'alarme.
- Bornes de données.
- L'électronique industrielle.
- Instrumentation.
- L'électronique médicale.
- Ordinateurs.

## **REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.**

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] :Electronique générale :Benayad.A-Guendoz 2012.
- [2] : Aide-mémoire composants électroniques DUNOD 3<sup>ème</sup> édition 2015 .
- [3] : Circuit logique :XavieMaldague 2006.
- [4] : Conception et réalisation d'un appareil de mesure .capacité et inductance pour un composant de filtre 2013.
- [5] : Etude et réalisation d'un générateur de durée de porte à oscillateur intégré(VCO)2013.
- [6] : <https://www.sparkfun.com>.
- [7]: <http://www.alldatasheet.com> .
- [8] : <https://www.intersil.com>.
- [9] : <https://assets.nexperia.com>.
- [10] : [http:// www.cedmagic.com](http://www.cedmagic.com).
- [11]:[http://ressources.univlemans.fr/AccesLibre/UM/Pedago/physique/02/cours\\_elec/transi.pdf](http://ressources.univlemans.fr/AccesLibre/UM/Pedago/physique/02/cours_elec/transi.pdf).
- [12] :<http://www.polytech-lille.fr/cours-atome-circuit-integre/bip/bip350.htm>.
- [13]:<https://openclassrooms.com/courses/l-electronique-de-zero/la-bobine>.
- [14] : Camille Diou Cours d'électronique numérique pdf.
- [15] : [https://www.sonelec-musique.com/electronique\\_theorie\\_reg\\_tension.html](https://www.sonelec-musique.com/electronique_theorie_reg_tension.html).