



Département de Maintenance en Instrumentation

Filière : Génie Industriel.

Spécialité : Ingénierie de la Maintenance en Instrumentation.

Mémoire de fin d'étude

En vue de l'obtention du diplôme de master

Thème

Commande analogique d'une diode électroluminescente :

Variateur pour une LED

Présenté et soutenu publiquement par :

- LETREUCH BELAROUCI Rachid Mohamed El Amine
- TAHA Soheib Hichem

Encadré par : Professeur HASSINI Abdelatif

Devant le jury composé de :

Nom /Prénom	Grade	Etablissement	Qualité
AOUIMAR Yamina	MAA	IMSI-Univ Oran2	Présidente
HASSINI Abdelatif	Professeur	IMSI-Univ Oran2	Encadreur
MEKKI Ibrahim El Khalil	MAA	IMSI-Univ Oran2	Examineur

Année : 2020/2021



Remerciement

Je remercie ALLAH le tout puissant de nous avoir donné la santé et la volonté d'entamer et de terminer ce mémoire.

*Tout d'abord, ce travail ne serait pas aussi riche et n'aurait pas pu avoir le jour sans l'aide et l'encadrement de **Mr HASSINI Abdelatif**, je le remercie pour la qualité de son encadrement exceptionnel, pour sa patience, sa rigueur et sa disponibilité durant notre préparation de ce mémoire.*

*Mes remerciements s'adressent aux membres de jury **Mr MEKKI Ibrahim El Khalil** et **Mme AOUIMAR Yamina** pour leur temps précieux.*

*Mes remerciements s'adressent à mes parents, ma sœur, ma grand-mère sans oublier mes chers amis **T. Soheib**, **Ahmed**, **Moussa**, **Adel**, **Houari**, **Bachir** et **R. Wissem** pour leurs aides et leur soutien moral et leurs encouragements.*

*Mes remerciements s'adressent au club scientifique **BASMAT MUHANDIS** qui m'a donnée la chance d'exprimer et s'exprimer et de connaître des gens en or.*

Mes remerciements s'adressent également tous nos professeurs pour leurs générosités et la grande patience dont ils ont su faire preuve malgré leurs charges académique et professionnelles.

Letreuch Belarouci Rachid 



Remerciement

Je remercie ALLAH le tout puissant de nous avoir donné la santé et la volonté d'entamer et de terminer ce mémoire.

*Tout d'abord, ce travail ne serait pas aussi riche et n'aurait pas pu avoir le jour sans l'aide et l'encadrement de **Mr HASSINI Abdelatif**, je le remercie pour la qualité de son encadrement exceptionnel, pour sa patience, sa rigueur et sa disponibilité durant notre préparation de ce mémoire.*

*Mes remerciements s'adressent aux membres de jury **Mr TITAH Mawloud** et **Mme AOUIMAR Yamina** pour leur temps précieux.*

*Mes remerciements s'adressent à mes parents, mes sœurs, mon frère sans oublier mes chers amis **Rachid, Adel, Moussa** et **Ahmed** pour leurs aides et leur soutien moral et leurs encouragements.*

Mes remerciements s'adressent également à tous nos professeurs pour leurs générosités et la grande patience dont ils ont su faire preuve malgré leurs charges académique et professionnelles.

Scheib Kichem Taha 

Sommaire

INTRODUCTION GENERALE.....	11
Chapitre 01: L'optoélectronique	12
1.1 Introduction:.....	12
1.2 Théorie générale de l'optoélectronique:.....	12
1.3 Le principe général de fonctionnement :.....	12
1.4 Spectre des ondes électromagnétiques optiques :	13
1.5 La différence entre l'optoélectronique, l'électro-optique et la photonique :.....	14
1.6 Principaux avantages et inconvénients de l'optoélectronique :.....	16
1.7 L'avenir de l'industrie de l'optoélectronique :	16
1.8 Les types des dispositifs optoélectronique les plus utilisé :.....	17
1.9 Diodes électroluminescentes (LED):	18
1.10 Caractéristiques électriques :.....	19
1.11 Courant direct en continu (I_F) :.....	21
1.12 Courant direct de crête (I_{FM}) :	21
1.13 Puissance et température de fonctionnement :.....	21
1.14 Influence de la tension directe :.....	21
1.15 Influence du courant I_F sur l'intensité lumineuse :.....	22
1.16 Influence de l'intensité lumineuse sur la température :	22
1.17 Caractéristiques physique:.....	22
1.17.1 Composants traversant:	22
1.17.2 Composants CMS (composant monté en surface) :	23
1.18 Réseau de LEDs :.....	23
1.19 Caractéristique optique :.....	24
1.19.1 Longueur d'onde du pic d'émission :	24
1.19.2 Correspondance couleurs, longueurs d'onde et énergie des photons :.....	25
1.20 Diagramme de rayonnement:	26
1.21 Intensité lumineuse :.....	27

1.22	Photodiode :.....	27
1.22.1	Généralité :	27
1.22.2	Principe de fonctionnement de la photodiode:	28
1.22.3	Modes de fonctionnement de la photodiode:	28
1.22.4	Caractéristiques de la photodiode:	29
1.22.5	Avantages et Inconvénient de la photodiode :	30
1.23	Phototransistor:.....	30
1.23.1	Généralité :	30
1.23.2	Definition:.....	30
1.23.3	Principe de fonctionnement :	31
1.23.4	Structure du phototransistor :	31
1.23.5	Caractéristiques des phototransistors :	32
1.23.6	Applications des phototransistors :	33
1.23.7	Avantages et Inconvénients des phototransistors :.....	33
1.24	Phtoresistance :.....	34
1.24.1	Generalité:	34
1.24.2	Principe de fonctionnement :	35
1.24.3	Paramètres et caractéristiques :.....	35
1.24.4	Les principaux paramètres :.....	35
1.25	Loi de WEBER FECHNER :	37
1.25.1	Généralité :	37
1.25.2	Comment ça marche ?	37
1.26	Conclusion :.....	38
Chapitre 2 : Signaux et Systèmes.....		40
2.1	Introduction:	40
2.2	Généralité sur les signaux:	40
2.3	Définition :	40
2.4	Signaux continus ou discrets:.....	41
2.5	Générateur de signaux :.....	42
2.5.1	Définitions :	42
2.5.2	Quelques Méthodes pour la génération de signaux :	43
2.6	Les amplificateurs opérationnels :.....	44
2.6.1	Généralité :	44

2.6.2	Définition:.....	45
2.6.3	Caractéristiques statiques :.....	46
2.7	Quelques applications des amplificateurs opérationnels :.....	47
2.7.1	Amplificateur de tension inverseur :.....	47
2.7.1	Amplificateur de tension non-inverseur:.....	47
2.7.2	Amplificateur suiveur de tension :	48
2.7.3	Apmlificateur de difference :.....	48
2.7.4	Amplificateur intégrateur :	50
2.7.5	Amplificateur antilogarithmique :	50
2.8	Bascule de schmitt :.....	52
2.8.1	Définition :.....	52
2.8.2	Application de la bascule de schmitt :	53
2.9	Bascule de schmitt à base de transistors bipolaires :.....	53
2.10	Bascule de schmitt à base d'un amplificateur opérationnel :.....	54
2.10.1	Bascule de schmitt inverseuse :.....	54
2.10.2	Bascule de schmitt non inverseuse :.....	54
2.11	Conversion tension/courant :.....	56
2.11.1	Pourquoi la conversion de la tension en courant :	56
2.11.2	Application du convertisseur tension-courant :	57
2.12	Qu'est-ce qu'un miroir de courant ?.....	57
2.12.1	Caractéristiques des miroirs :	58
2.12.2	L'idée d'un miroir de courant à base de transistors bipolaire:	58
2.12.3	Miroir de courant MOSFET de base :	59
2.12.4	Autres miroirs de courant :	60
2.13	Conclusion :.....	60
Chapitre 3: Commande analogique d'une LED.....		62
3.1	Introduction:.....	62
3.2	L'idée de ce projet :	62
3.3	Pourquoi cette sensation	62
3.4	Principe du montage:	64
2.5	Le rôle principal des composants choisis :.....	65
3.6	Variateur Alternatif :.....	65

3.6.1 Fonctionnement :	67
3.7 Amplificateur exponentiel:	68
3.7.1 Fonctionnement :	69
3.8 Circuit quadratique:	71
3.8.1 Fonctionnement :	72
3.9 La variation de luminosité avec des FET	73
3.9.1 Le MOSFET :	73
3.9.2 Symbole du MOSFET :	73
3.9.3 Fonctionnement à PUT et MOSFET :	74
3.10 Le gyrateur :	77
3.10.1 Comment ça fonctionne :	77
3.10.2 L'inconvénient de ce circuit :	78
3.10.3 Fonctionnement du variateur avec un gyrateur modifié :	78
3.11 Conclusion :	80
CONCLUSION GENERALE	81
Bibliographie	
Annexe	

Liste des tableaux

Tableau 1.1: avantages et des inconvénients essentiels de l'optoélectronique	16
Tableau 1.2 : couleurs, longueurs d'onde et énergie des photons	25
Tableau 1.3 : table des matériaux, rayonnement et longueur l'onde	26
Tableau 3.1 : variation de courant en fonction de résistance P3.....	71
Tableau 3.2 : variation de courant en fonction de résistance R3.....	74
Tableau 3.3 : variation de courant en fonction de résistance R8.....	76

Liste des figures

Chapitre 01

Figure 1.1 : Fonctionnement de l'optoélectronique	13
Figure 1.2 : utilisation du spectre électromagnétique.[2].....	14
Figure 1.3 : La LED	18
Figure 1.4 : Symbole de la LED	18
Figure 1.5 : Structure de base d'une diode électroluminescente " LED "	19
Figure 1.6 : Diode Electroluminescent usuelle encapsulée.....	19
Figure 1.7 : Circuit de polarisation de la LED[7]	19
Figure 1.8 : La variation du courant direct en fonction de la tension directe[7]	20
Figure 1.9 : diode normale en série avec une LED [7]	21
Figure 1.10 : La Forme de la LED [7]	23
Figure 1.11 : LED montée en surface[7].....	23
Figure 1.12 : reseau lineaire à LEDs [7]	24
Figure 1.13 : Schéma interne d'un réseau de LED[7]	24
Figure 1.14 : un réseau circulaire à LED[7].....	24
Figure 1.15 : Spectre d'émission d'une diode électroluminescente[7]	25
Figure 1.16 : répartition angulaire par diagramme de rayonnement[7]	26
Figure 1.17 : répartition angulaire par diagramme de rayonnement[9]	27
Figure 1.18 : Symbole de la photodiode [9].....	27
Figure 1.19 : Structure de la photodiode[11]	28
Figure 1.20 : courbe caractéristique de la photodiode[11].....	29
Figure 1.21 : le courant en fonction de l'éclairage [11].....	29
Figure 1.22 : phototransistor[13]	30
Figure 1.23 : Symbole du circuit du phototransistor.....	31
Figure 1.24 : Structure du phototransistor. [13].....	32
Figure 1.25 : La relation entre l'intensité lumineuse, le courant et la tension de sortie[12].....	32
Figure 1.26 : construction typique d'une photorésistance[15].....	34
Figure 1.27 : symbole d'une photorésistance [15].....	35
Figure 1.28 : Variation de la résistance en fonction de l'éclairage [15]	36
Figure 2.1 :signal analogique : temps et amplitudes continus[20].....	41
Figure 2.2 : signal échantillonné : temps discret et amplitude continue[20].....	41
Figure 2.3 : signal quantifié: temps continu et amplitude discrète[20].....	42

Figure 2.4 : signaux numériques : temps et amplitudes discrets[20]	42
Figure 2.5 : Montage astable à base de transistors[22]	43
Figure 2.6 : amplificateur opérationnel.....	44
Figure 2.7 : Symbole de l'amplificateur opérationnel[23].....	44
Figure 2.8 : amplificateur opérationnel à deux tension de polarisation [23].....	45
Figure 2.9 : amplificateur opérationnel à une tension de polarisation[23].....	45
Figure 2.10 : caractéristique statique $V_s(\epsilon)$. [24].....	46
Figure 2.11 : Amplificateur de tension inverseur[25].....	47
Figure 2.12 : Amplificateur de tension non-inverseur[25].....	47
Figure 2.13 : Amplificateur suiveur de tension [25].....	48
Figure 2.14 : Amplificateur différentiel[26]	49
Figure 2.15 : Amplificateur intégrateur [26].....	50
Figure 2.16 : d'un amplificateur anti-logarithmique à une diode $V_e > 0$ [29].....	51
Figure 2.17 : schéma d'un amplificateur anti-logarithmique à une diode $V_e < 0$ [29].....	52
Figure 2.18 : Exemple d'application de bascule de schmitt : remise en forme d'un signal carrée[29]	53
Figure 2.19 : bascule de schmitt à base de transistors bipolaires [29]	53
Figure 2.20 : Bascule de schmitt inverseuse à amplificateur opérationnel[29]	54
Figure 2.21 : Bascule de schmitt non inverseuse à amplificateur opérationnel[29]	54
Figure 2.22 : Evolution du signal de sortie V_s en relation avec le signal V_e appliquée à l'entrée de la bascule de schmitt a AOP. [29].....	56
Figure 2.23 : Cycle d'hystérésis de la bascule de Schmitt inverseuse à AOP[29].....	56
Figure 2.24 : Un miroir de courant réalisé avec des transistors bipolaires NPN utilisant une résistance pour régler le courant de référence I_{REF} ; V_{CC} = tension d'alimentation.[32].....	59
Figure 2.25 : Un miroir de courant MOSFET avec une résistance pour régler le courant de référence I_{ref} ; V_{DD} est la tension d'alimentation.[33].....	59
Figure 3.1 : La variation linéaire du courant à travers la LED en fonction de temps.	63
Figure 3.2 : La variation exponentielle du courant à travers la LED en fonction de temps.....	63
Figure 3.3 : Le schéma fonctionnel général des variateurs analogiques.....	64
Figure 3.4 : Schéma de circuit du variateur alternatif.....	66
Figure 3.5 : Schéma de circuit de l'amplificateur exponentiel	68
Figure 3.6 : signal du courant I_3	69
Figure 3.7 : signal du courant I_2	69
Figure 3.8: signal du courant I_1	69
Figure 3.9 : Schéma du circuit du variateur exponentiel	70
Figure 3.10 : Schéma du circuit quadratique.	71
Figure 3.11 : signal du courant I_2	72
Figure 3.12 : signal du courant I_1	72
Figure 3.13 : signal du courant I_3	72
Figure 3.14 : Le MOSFET BS170 [38].....	73
Figure 3.15 : Symboles des deux types de MOSFET[40].....	73
Figure 3.16 : Schéma du variateur à PUT et MOSFET	74
Figure 3.17 : montage du variateur à MOSFET en 3D.....	75
Figure 3.18 : Le schéma d'un variateur avec un gyrateur modifié.	76
Figure 3.19 : Schéma du circuit d'un gyrateur seul	77
Figure 3.20 : Montage du variateur à gyrateur en 3D.....	80

Liste des abréviations

LED: Light Emitting Diode

NIR: Near-infrared Spectroscopy

EO: Electro-Optique

R&D : Recherche et Développement

CI : Circuits Intégrés

V_F : Forward voltage

V_R : Reverse Voltage

TA: Température Ambiante

CMS : Composant Monté en Surface

LDR : Light Dependent Resistors

CdS : Sulfure de cadmium

PbS : Sulfure de plomb

CdSe : Séléniure de Cadmium

UJT : Uni Junction Transistor

AOP : Amplificateur Opérationnel

CCCS : Current Controlled Current Source

CCS : Source de Courant Constant

MOSFET: Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor

VDG: Drain Gate Voltage

VGS: Gate Source Voltage

PUT: Programmable Unijunction Transistor

Introduction générale:

Nos jours et grâce au progrès de l'optique intégré et des nouveaux composants semi-conducteurs, des systèmes entièrement optiques verront le jour utilisant pleinement le spectre lumineux, la rapidité et la cohérence des processus quantiques. Certaines fonctions réalisées par des systèmes électroniques seront remplacées par des systèmes optiques.

L'Optoélectronique et la Photonique regroupent les domaines dont les composants et les applications faisant appel aux plus récentes technologies dans le domaine de l'optique, de l'électronique et des matériaux. La découverte du laser et de la fibre optique ont été des étapes très importantes dans ce développement. Le terme Photonique est plus générique et décrit tout composant ou équipement dans lequel a lieu une production, un transport, une transformation ou une détection de photons. Le terme Optoélectronique est plus particulièrement utilisé dans le domaine des et dans les applications grand public comme les lecteurs optiques.

La lumière peut être caractérisée à la fois comme une onde dans le spectre électromagnétique ou une particule, le photon. L'avantage de l'optoélectronique par rapport à d'autres technologies est obtenu grâce aux propriétés suivantes :

- Les courtes longueurs d'onde, qui correspondent à des très hautes fréquences.
- La nature quantique des photons qui leur permet de se regrouper sans limitation de nombre.
- L'existence de supports d'information comme la fibre optique possédant des très faibles pertes, permettant de véhiculer à la vitesse de la lumière une grande quantité d'informations avec une bonne confidentialité.

Le but de ce projet est de démontrer la loi de WEBER FECHNER faire varier la luminosité de la LED de façon linéaire en contrôlant le courant et de le varier de manière exponentielle en utilisant des fonctions électroniques dans un circuit qui se compose des dispositifs et des composant électroniques et optoélectroniques. Les circuits et les montages réalisés sont conçus pour des basses tensions, de l'ordre de 9 à 12 V, et pour la commande des LED.

Notre projet est réparti en trois chapitre, le premier est consacrée à l'étude de l'optoélectronique et ces différents composants et le principe de fonctionnement et les propriétés de chacun.

Introduction générale

Le deuxième chapitre est consacré à l'étude des principales fonctions électroniques et électriques des composants des circuits et des montages à concevoir comme les bascules, les convertisseurs tension/courant et les miroirs de courant.

Le troisième chapitre est une synthèse du travail que nous avons mené, il englobe l'ensemble des techniques utilisées et les descriptions de fonctionnement de chaque montage, ainsi que les schémas électriques simulés sous Proteus ISIS et la réalisation pratique de la carte.

Chapitre 1

L'optoélectronique

1 Chapitre 01: L'optoélectronique

1.1 Introduction:

Au cours des siècles précédents, l'étude, l'utilisation et la mesure de la lumière ont poussé les scientifiques vers un système de connaissances lié à l'optique. Dans la Grèce antique, l'observation des fantômes, et des phénomènes atmosphériques liés à la lumière, a inspiré les premiers philosophes à s'intéresser au comportement de la lumière dans l'atmosphère.

L'optoélectronique devient vite un champ de technologie émergeant rapide qui se compose appareils électroniques pour la recherche, la détection et le contrôle de lumière. Ces artifices peuvent être une partie de beaucoup d'applications comme les services militaires, les systèmes de contrôle d'approche automatiques, les télécommunications, l'équipement médical et plus. Puisque ce champ est si large, la gamme d'artifices cet automne sous optoélectronique est vaste, en incluant l'image ramasse des artifices LED et composants, écrans d'information, entrepôts optiques, systèmes de télédétection et systèmes de communication optique. [1]

1.2 Théorie générale de l'optoélectronique:

L'optoélectronique est une discipline spécifique de l'électronique qui se concentre explicitement sur les dispositifs émetteurs ou détecteurs de lumière. Les dispositifs optoélectroniques font référence aux composants utilisés pour détecter ou émettre des rayonnements électromagnétiques,

Généralement dans les régions du visible et du proche infrarouge (NIR) du spectre électromagnétique. Chacune de ces fonctions exploite l'effet photoélectrique des matériaux, également connu sous le nom d'interaction lumière-matière. Le principe de cette dernière a été établi par *Albert Einstein*, qui a postulé que la lumière était quantifiée, formée de photons au lieu d'ondes continues. [1]

1.3 Le principe général de fonctionnement :

Les mécanismes sous-jacents de tous les dispositifs optoélectroniques sont basés sur l'effet photovoltaïque, qui désigne l'émission d'électrons par des photons à partir d'un matériau. Lorsqu'un faisceau lumineux frappe un matériau photoélectrique, l'énergie des photons peut être absorbée par les électrons du réseau cristallin du matériau. Si cette énergie dépasse la bande d'énergie interdite de l'électron, elle est éjectée du matériau. Le même principe général

fonctionne à l'inverse pour produire de la lumière à partir de signaux électriques, comme la Figure 1.1 montre :

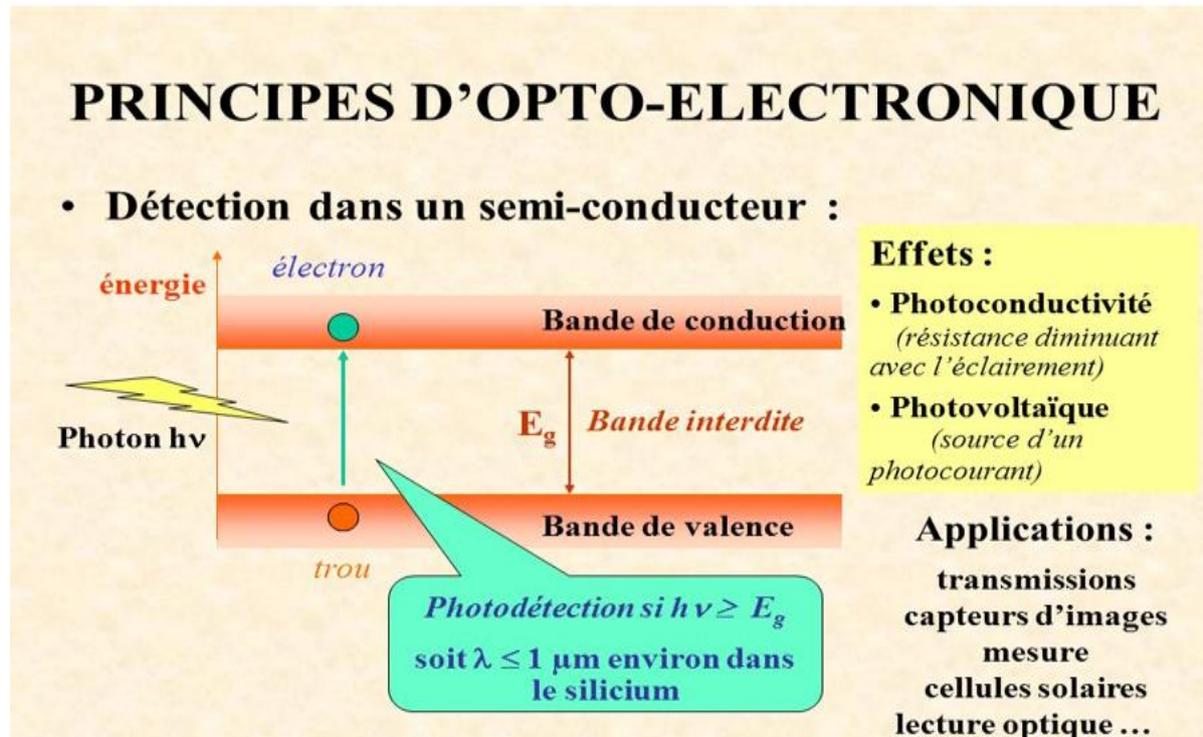
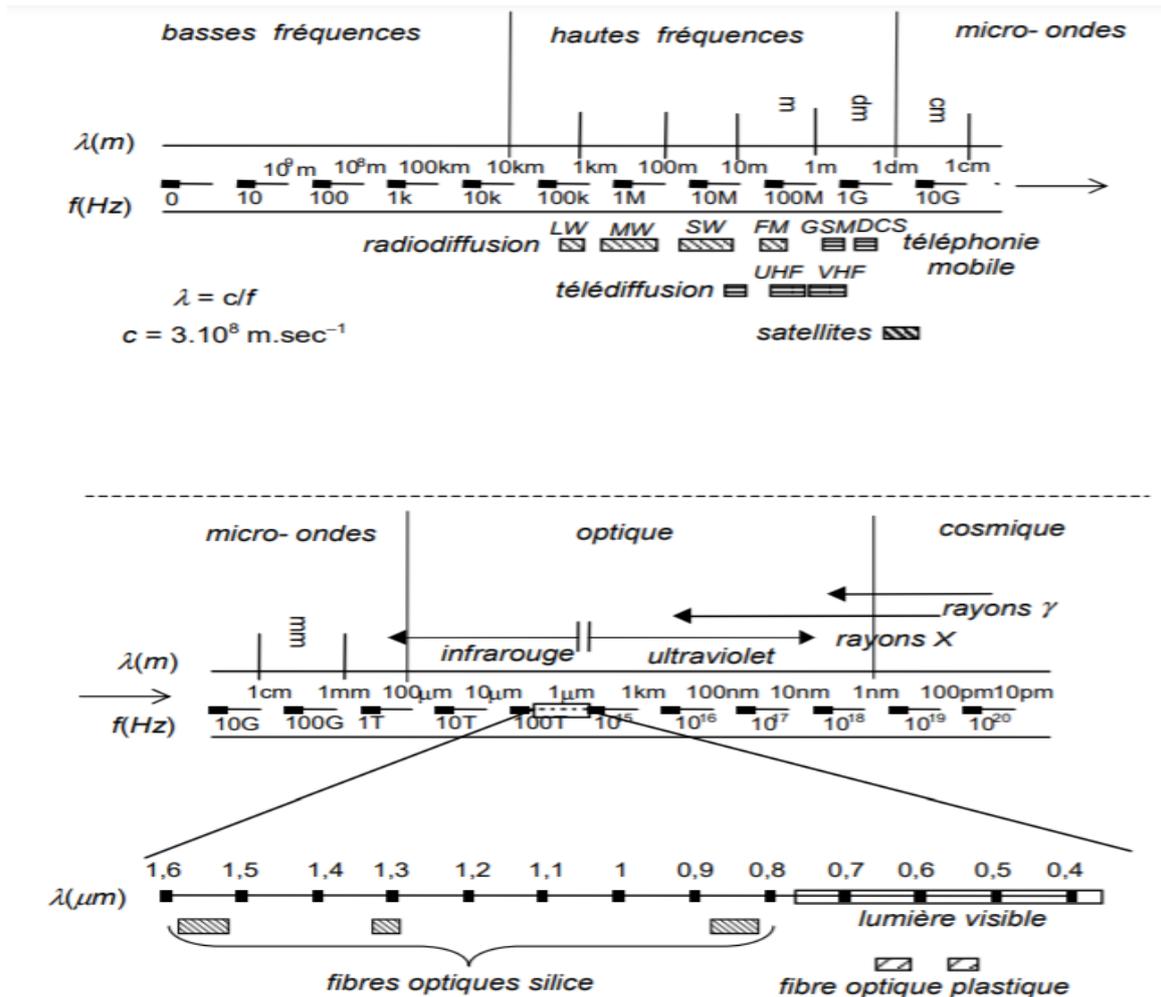


Figure 1.1 : Principe d'optoélectronique

1.4 Spectre des ondes électromagnétiques optiques :

La nature ondulatoire du rayonnement lumineux est d'origine électromagnétique et se caractérise par la longueur d'onde λ située dans le spectre. Les ondes lumineuses sont de même nature que les ondes radio.

La fréquence ν , en Hz, et la longueur d'onde λ , en mètres, sont liées dans le vide par la relation $\nu = c/\lambda$ où $c = 3.108 \text{ m.s}^{-1}$ est la vitesse de la lumière dans le vide. À titre indicatif : $\lambda = 1 \mu\text{m} = 1000 \text{ nm}$ correspond dans le vide à une fréquence de $\nu = (3.108/10^{-6}) = 3.1014 \text{ Hz}$. [2]



L'ordre de grandeur des fréquences indique le potentiel de l'optique en ce qui concerne la quantité d'information pouvant être transportée si le spectre entier pouvait être utilisé.

1.5 La différence entre l'optoélectronique, l'électro-optique et la photonique :

L'étude de la lumière est un domaine incroyablement complexe et intersectionnel qui concerne diverses écoles de pensée. La photonique et l'optique, par exemple, sont deux domaines scientifiques indéniablement liés mais distincts. De même, l'optoélectronique et l'électro-optique sont des entités totalement distinctes mais liées. Il peut être facile de perdre le fil de la langue lorsque l'on considère ces différents domaines d'un point de vue aussi large. En outre, ces termes sont souvent utilisés de manière interchangeable alors qu'ils ont des significations distinctes qui méritent d'être notées. Ils sont définis comme suit :

Optoélectronique :

Décrit comme "un dispositif qui répond à une puissance optique, émet ou modifie un rayonnement optique ou utilise un rayonnement optique pour son fonctionnement interne" ou "tout dispositif qui fonctionne comme un transducteur électrique-optique ou optique-électrique". [3]

Électro-optique :

Il s'agit de "l'utilisation de champs électriques appliqués pour générer et contrôler le rayonnement optique" [4]. Il convient également de noter qu'un avertissement est fourni pour ce terme car le terme électro-optique (E-O) est fréquemment utilisé comme synonyme d'optoélectronique, ce qui est incorrect. [1]

Photonique :

La photonique est connue comme "la technologie permettant de générer et d'exploiter la lumière, dont l'unité quantique est le photon" [5]. Cette définition est la plus large des trois termes énumérés. [1]

La distinction entre l'optique et la photonique :

Une façon simple de distinguer l'optique et la photonique est que toutes deux s'occupent de la manipulation de la lumière. Toutefois, l'électro-optique s'occupe de la manipulation électrique des dispositifs et des systèmes afin de produire les propriétés lumineuses souhaitées, tandis que la photonique s'occupe de la manipulation de la lumière pour produire un signal électrique requis.

Avant d'explorer les types de dispositifs optoélectroniques disponibles aujourd'hui, il convient de distinguer ce que l'on entend par électro-optique et par optoélectronique. Comme nous l'avons mentionné, il existe un certain désaccord sur l'usage du mot.

Certains affirment que les deux sont synonymes, mais ce n'est pas tout à fait exact.

Comme son nom le suggère, l'électro-optique est plus étroitement liée au domaine de l'optique. En creusant davantage, l'électro-optique fait généralement référence aux méthodes et aux dispositifs utilisés pour modérer les caractéristiques de la lumière par un effet électrique, comme l'ajustement électronique des indices de réfraction des dispositifs optiques.

1.6 Principaux avantages et inconvénients de l'optoélectronique :

Sans aucun doute, l'optoélectronique est une technologie vitale qui a permis un fonctionnement pratiquement sans faille de l'industrie de l'information, et elle a profité à de nombreux secteurs concernés, comme le médical, les communications, l'aérospatiale et la défense.

Toutefois, comme toute technologie, l'optoélectronique présente des avantages et des inconvénients essentiels qu'il convient de prendre en considération.

Le tableau suivant résume les avantages et les inconvénients de l'optoélectronique,

Tableau 1.1 : Avantages et inconvénients essentiels de l'optoélectronique.[7]

Avantages	Inconvénients
A contribué à donner une nouvelle perspective à la conception des satellites.	Les dispositifs sont sensibles à la température.
Bande passante élevée pour les communications.	Nécessitent un alignement précis pour le couplage (ce qui peut être difficile).
Des appareils qui consomment moins d'énergie	L'intégration d'éléments optoélectroniques sur un substrat est souvent difficile.
Les dispositifs tels que les répéteurs optiques et les réseaux de fibres optiques ont apporté une aide considérable à l'industrie militaire et aérospatiale en permettant la transmission de liaisons radioélectriques aériennes qui, souvent, ne peuvent pas toujours atteindre leurs récepteurs prévus en raison de la présence de navires, d'espaces confinés ou de tunnels.	
Rentabilité	

1.7 L'avenir de l'industrie de l'optoélectronique :

Les dispositifs optoélectroniques représentent une part importante du marché mondial des semi-conducteurs, et la croissance est observée dans quelques domaines.

- Les demandes élevées de LED sont devenues une norme industrielle pour la technologie d'affichage dans les appareils électroniques. Cette norme est due à une demande accrue de meilleures performances et d'une résolution plus élevée de la part des consommateurs.
- On observe une croissance de la demande dans l'industrie automobile grâce à l'adoption de véhicules électriques et de véhicules autonomes, ce qui devrait stimuler l'utilisation de dispositifs optoélectroniques, propulsant ainsi le marché.
- Les technologies de fabrication et de fabrication avancées connaissent une consommation croissante, ce qui favorise l'utilisation de composants optoélectroniques dans le secteur industriel.

En outre, l'optoélectronique offre des opportunités importantes pour la R&D (Recherche et développement), et son effet peut être observé dans les domaines de l'amélioration des performances, de la réduction des coûts et de la fabrication en grande quantité. [6]

1.8 Les types des dispositifs optoélectronique les plus utilisés :

Aujourd'hui, les dispositifs optoélectroniques reposent principalement sur des semi-conducteurs tels que le silicium (Si), dont les propriétés électroniques se situent entre celles d'un conducteur et d'un isolant, en fonction de la structure de la bande d'énergie interdite dans le matériau.

Bien que la relation entre l'optoélectronique et les semi-conducteurs ne soit pas mutuellement exclusive, ils constituent la base de la plupart des systèmes optoélectroniques utilisés dans les produits de consommation, industriels et militaires. [1]

Ces systèmes comprennent, sans s'y limiter, les éléments suivants :

- Les diodes électroluminescentes (LED)
- Les photodiodes
- Photorésistances
- Photovoltaïques (ou cellules solaires)
- Circuits intégrés (CI) de capteurs codeurs
- Diodes laser
- Fibres optiques

1.9 Diodes électroluminescentes (LED):

Cette diode émet de la lumière quand elle polarisée en direct. Elle est maintenant très utilisée pour l'éclairage des habitations et depuis 1975 comme voyants lumineux dans les appareils électroniques. [7], les figure, montrent la LED et le symbole

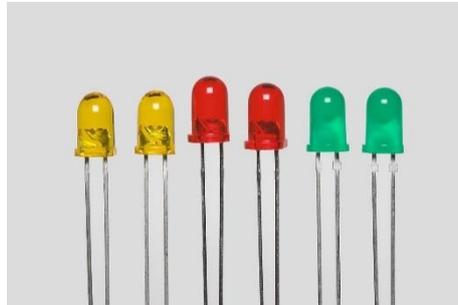


Figure 1.3 : La LED [4]

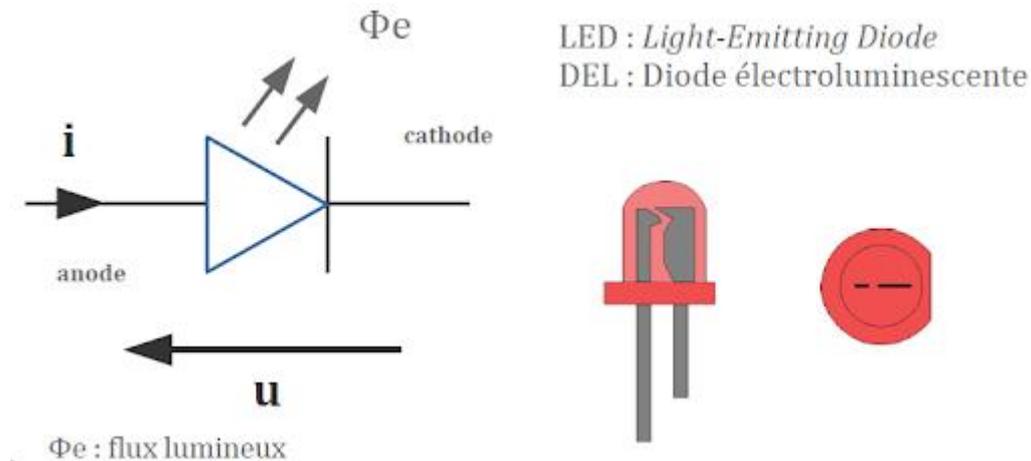


Figure 1.4 : Symbole de la LED [4]

Structure de base:

La diode électroluminescente « LED : Light emitting diode » (ou « DEL » en français) est une diode à jonction PN réalisée sur un matériau semi-conducteur, fortement dopé, à recombinaisons radiatives. Une structure type de la diode électroluminescente est illustrée sur la figure 1.5. La LED émet un rayonnement incohérent issu d'émissions spontanées de photons. Son diagramme de rayonnement est généralement contrôlé par une optique ajoutée à la diode lumineuse. [8]

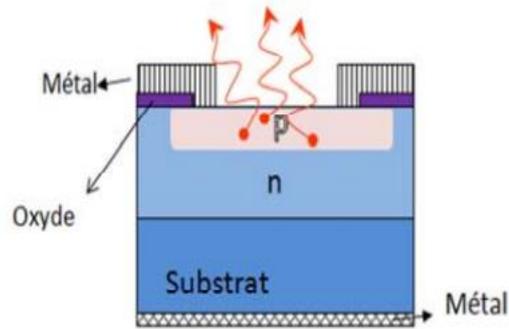


Figure 1.5: Structure de base d'une diode électroluminescente "LED" [8]

La figure 1.6 suivante représente une diode Electroluminescente usuelle encapsulée dans un matériau plastique transparent qui joue le rôle de lentille et détermine l'angle d'émission.



Figure 1.6 : Diode Electroluminescente usuelle encapsulée [8]

1.10 Caractéristiques électriques :

Point de fonctionnement et tension direct :

Une LED se comporte électriquement comme une diode. Pour émettre elle doit être **polarisée en direct**.

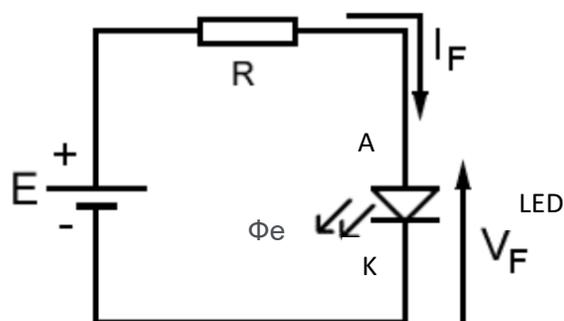


Figure 1.7 : Circuit de polarisation de la LED[7]

Le courant traversant la LED détermine l'intensité lumineuse émise.

Remarque : certaines diodes ont des tensions de construction de l'ordre de 3 volts et plus.

La courbe dans la figure 1.8 indique la variation du courant direct en fonction de la tension directe

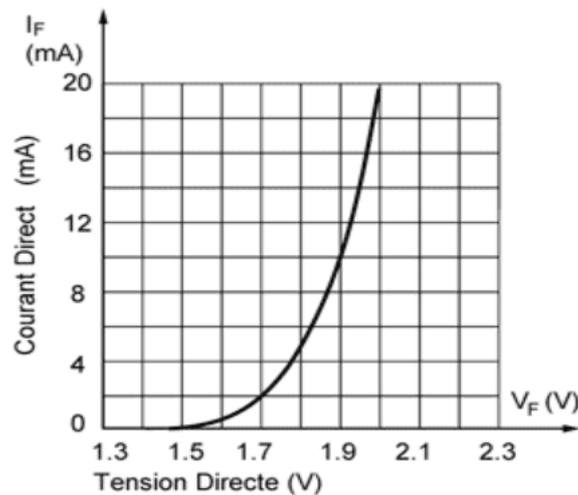


Figure 1.8 : La variation du courant direct en fonction de la tension directe[7]

La caractéristique $I_F(V_F)$ montre que la tension de conduction de la diode LED (forward voltage) est environ 1,5 volts à 2 V.

Tension inverse (V_R) :

Dans certains cas, on peut avoir besoin de polariser en inverse la LED. La diode est alors éteinte : elle n'émet plus d'intensité lumineuse. Mais attention, la diode LED ne peut pas supporter des tensions inverses trop importantes comme **une diode de redressement** par exemple. Les valeurs courantes se situent telles que $V_R \text{ max} = \pm 3 \text{ V à } 5 \text{ V}$ (reverse voltage) ; au-delà de ces valeurs il y a endommagement ou destruction du composant. En cas de besoin nous plaçons une diode normale en série avec la LED comme suit ;[7]

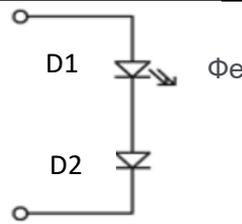


Figure 1.9 : diode normale en série avec une LED [7]

1.11 Courant direct en continu (I_F) :

Le courant direct (mA) est donné en règle générale pour une température ambiante (TA) de 25°C. C'est le courant permanent que peut supporter la diode. Comme un semi-conducteur chauffe (avec aggravement si $TA > 25^\circ\text{C}$), il est recommandé de réduire l'intensité du courant (forward current).[7]

1.12 Courant direct de crête (I_{FM}) :

C'est l'intensité d'une impulsion de courant direct maximum qui peut être appliquée à la LED pendant une durée déterminée. Entre deux impulsions de cette intensité, le composant doit avoir le temps de refroidir. Il faudra donc choisir un rapport entre durée d'impulsion et durée de pause assez grand. [7]

1.13 Puissance et température de fonctionnement :

La température de jonction doit rester inférieure à 125°C. Mais souvent les diodes LED sont montées dans des boîtiers plastiques. Dans ce cas, la température de fonctionnement ne doit pas dépasser 100°C. La puissance que peut dissiper une diode LED commune (ou utilisée en tant que témoin lumineux) est de l'ordre de 20 à 100 mw.

Les puissances des diodes LEDs destinées aux applications d'éclairage de locaux ou des lieux publics sont de l'ordre du Watt voir beaucoup plus quand il s'agit de module LED.[7]

1.14 Influence de la tension directe :

Toutes les LEDs présentent des variations de tension directe en fonction des changements de température de jonction. Le coefficient de température dépend du type de jonction. Les LEDs(jaune, orange et rouge) ont un coefficient compris entre -3,0 mV/K à -5,2 mV/K, et la LED (bleu, vert et blanc) ont un coefficient compris entre -3,6 mV/K et -5,2 mV/K.[7]

1.15 Influence du courant I_F sur l'intensité lumineuse :

L'œil est sensible à l'**intensité lumineuse moyenne** émise. L'intensité lumineuse donnée par le fabricant est obtenue dans des conditions de fonctionnement qu'il doit spécifier. Généralement il utilise un **courant continu** (à $T_A = 25^\circ \text{C}$).

D'autres valeurs de courant se traduisent par d'autres intensités lumineuses. En exploitant d'autres caractéristiques $I_v(I_F)$ on s'aperçoit alors que l'intensité lumineuse augmente plus vite que le courant, c'est-à-dire que le rendement augmente pour un courant I_F , élevé mais bref, appelé courant de crête.

Il est alors extrêmement intéressant d'alimenter la LED en **courant pulsé** au lieu du courant continu. La valeur crête du courant permet alors d'obtenir des **intensités lumineuses importantes**. De ce fait on peut :

- Augmenter l'intensité lumineuse émise à **consommation électrique moyenne égale**,
- Diminuer la consommation électrique tout en obtenant une intensité lumineuse égale,
- Réduire l'échauffement de la jonction.

1.16 Influence de l'intensité lumineuse sur la température :

L'intensité lumineuse diminue à mesure que la température augmente. Il s'agit d'un résultat de l'évolution des gains d'efficacité dans le semi-conducteur, et non le résultat de la variation de la tension direct en fonction de la température. Ce changement de température est non linéaire. [7]

1.17 Caractéristiques physique:

1.17.1 Composants traversant:

Les fabricants proposent maintenant des LEDs de formes variées ; la plus commune de toutes étant la ronde. Elle se décline en plusieurs diamètre : 1,35 mm, 3 mm, 5 mm à 10mm. Nous trouvons également des LED rectangulaires, triangulaires, carrées et en barre. Il faut bien repérer les connexions anode et cathode et respecter les consignes de mise en œuvre lors de l'implantation de la LED sur le circuit imprimé ou du soudage avec des fils. [7]

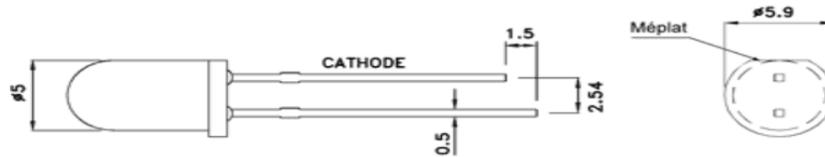


Figure 1.10 : La Forme de la LED

1.17.2 Composants CMS (composant monté en surface) :

Sous cette forme les boîtiers sont moins encombrants et nous pouvons en souder plus sur une surface donnée. Ils conviennent pour la réalisation d'affichage, de feux de signalisation, modules électroniques miniatures ou une matrice de LEDs. [7]



Figure 1.11 : LED montée en surface[7]

1.18 Réseau de LEDs :

Les diodes électroluminescentes discrètes peuvent être organisées en réseaux linéaires ou plan.

Dans le premier cas, elles peuvent remplacer un affichage analogique classique (galvanomètre).

Dans le second cas, elles serviront à toutes sortes d'affichages, y compris graphiques et leur commandes sera généralement multiplexée.[7]

Formes :

Les formes peuvent être variées :

- En ligne horizontale ou verticale,
- Multiple,
- Circulaire simple.

Exemples:



Figure 1.12 : réseau linéaire à LED [7]

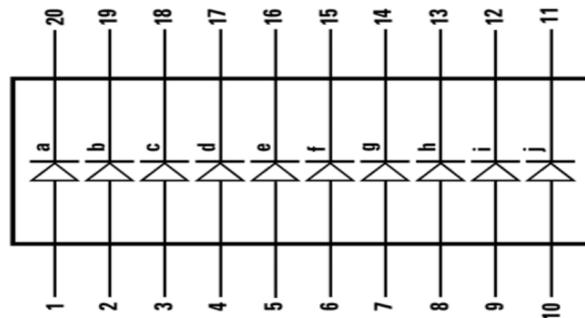


Figure 1.13 : Schéma interne d'un réseau de LED

Sur cette configuration, on remarque bien la disponibilité de chacune des connexions des LED.

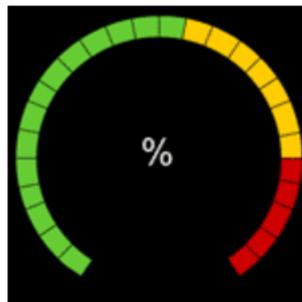


Figure 1.14 : un réseau circulaire à LED[7]

Remarque :

L'affichage peut respecter toutes les lois mathématiques (logarithmiques par exemple) et être commandé à partir d'informations codées de toutes sortes.

1.19 Caractéristique optique :

1.19.1 Longueur d'onde du pic d'émission :

Cette valeur nous indique la longueur d'onde (λ_p), en nano-mètre, à laquelle est émis la plus importante partie du rayonnement (wavelength). La valeur est donnée pour une intensité de courant (I_F).[7]

Spectre ou largeur spectrale à mi-intensité :

Le spectre d'émission d'une diode LED est relativement étroit.

Exemple : pour une longueur d'onde à intensité maximale égale à 520 nm, la longueur d'onde à intensité moitié pourra être comprise de 505 nm à 535 nm (soit une largeur spectrale de 30 nanomètres).[7]

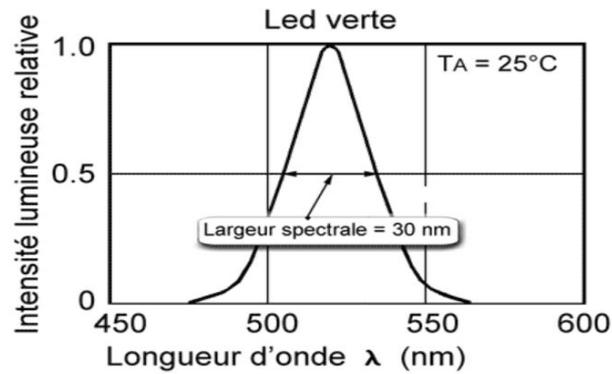


Figure 1.15 : Spectre d'émission d'une diode électroluminescente[7]

1.19.2 Correspondance couleurs, longueurs d'onde et énergie des photons :

Tableau1.2 : Couleurs, longueurs d'onde et énergie des photons [7]

Couleur	Longueur d'onde (nm)	Energie des photons (eV)
UltraViolet	< 390	> 3,18
Violet	390-455	2,72-3,18
Bleu	455-490	2,53-2,72
Cyan	490-515	2,41-2,53
Vert	515-570	2,18-2,41
Jaune	570-600	2,06-2,18
Orange	600-625	1,98-2,06
Rouge	625-720	1,72-1,98
InfraRouge	> 720	< 1,72

Il existe plusieurs types de LED, et chaque type a un spectre différent. Cela est obtenu par la variété des semi-conducteurs utilisés pour fabriquer les jonctions PN. Exemples dans le tableau suivant pour l'obtention de certaines longueurs d'onde :

Tableau 1.3 : Table des matériaux, rayonnement et longueur l'onde [7]

Matériaux	Rayonnement	Longueur d'onde
InAs	ultra-violet	315 nm
InP	infra-rouge	910 nm
GaAsP ₄	rouge	660 nm
GaAsP ₈₂	jaune	590 nm
GaP	vert	560 nm

1.20 Diagramme de rayonnement:

Le flux lumineux n'est pas homogène tout autour de la LED. La **répartition spatiale** de la puissance émise dépend de la forme de la diode LED :

- Forme de la partie émissive (point, trait...),
- Avec lentille de concentration ou sans,
- Diffusante ou non.

Cette répartition est définie par le diagramme de rayonnement qui représente la répartition angulaire de l'intensité relative émise.[7]

Exemple :

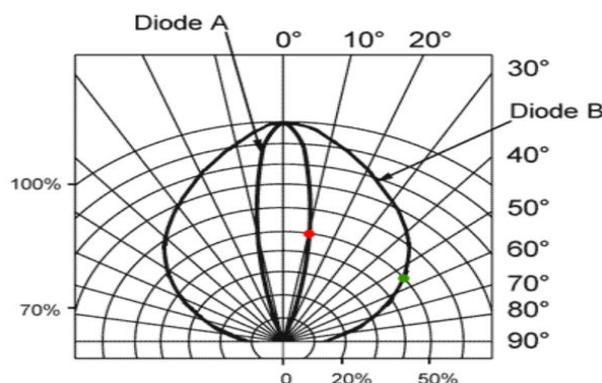


Figure 1.16 : Répartition angulaire par diagramme de rayonnement[7]

1.21 Intensité lumineuse :

L'intensité lumineuse (mesurée en candelas) est la quantité de lumière émise dans une certaine direction à 1 mètre de distance. Dans les caractéristiques optiques des LED nous l'exprimons aussi en micro-candela (mcd) et se note I_V . [7]

1.22 Photodiode :

1.22.1 Généralité :

La photodiode est un composant actif qui génère une tension électrique (effet photovoltaïque) ou un photocourant lorsqu'il est éclairé. La base physique de ce fonctionnement est la jonction p-n dans le semi-conducteur silicium. Si les photons sont absorbés avec suffisamment d'énergie dans le détecteur, des porteurs de charge (paires électron-trou) se forment. Ceux-ci sont séparés dans la zone de charge d'espace, ce qui crée le photocourant.[10]

Les photodiodes sont construites comme toutes les autres diodes à jonction classiques. Une photodiode typique est présentée ci-dessous.



Figure 1.17 : La photodiode [9]

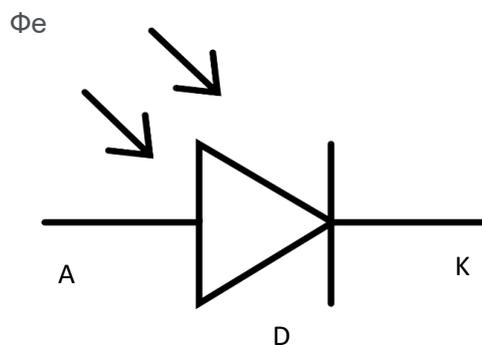


Figure 1.18 : Symbole de la photodiode [9]

1.22.2 Principe de fonctionnement de la photodiode:

Cela fonctionne sur le principe d'Effet photoélectrique. Le principe de fonctionnement de la photodiode est tel que lorsque la jonction de ce dispositif semi-conducteur à deux bornes est allumée, le courant électrique commence à la traverser. Seul un courant minoritaire traverse l'appareil lorsque le potentiel inverse déterminé lui est appliqué. [11]

La figure ci-dessous montre les détails de construction d'une photodiode:

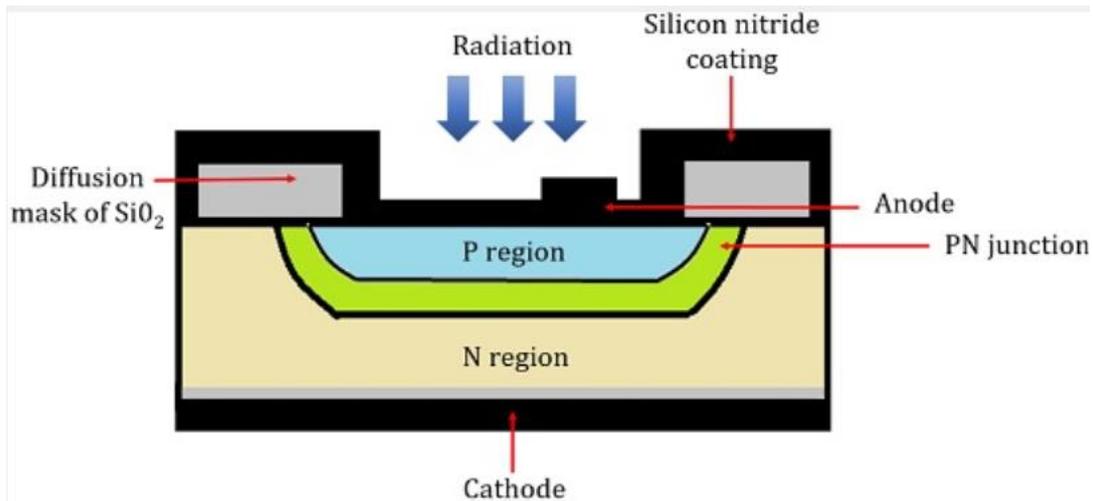


Figure 1.19 : Structure de la photodiode[11]

La jonction PN de l'appareil est placée à l'intérieur d'un matériau en verre. Ceci est fait sur commande pour permettre à l'énergie lumineuse de la traverser. Comme seule la jonction est exposée à un rayonnement, l'autre partie du verre est peinte en noir ou métallisée.

L'unité globale est de très petite dimension presque sur 2,5 mm. Il est à noter que le courant circulant à travers le dispositif est en micro-ampère et est mesuré à travers un ampèremètre. [11]

1.22.3 Modes de fonctionnement de la photodiode:

La photodiode fonctionne essentiellement en deux modes:

Mode photovoltaïque: Il est également appelé mode de polarisation zéro car aucun potentiel inverse externe n'est fourni à l'appareil. Toutefois, le transporteur minoritaire aura lieu lorsque le dispositif sera exposé à la lumière.

Mode photoconducteur: Lorsqu'un certain potentiel inverse est appliqué à l'appareil, celui-ci se comporte alors comme un dispositif photoconducteur. Ici, on constate une augmentation de la largeur d'épuisement avec le changement correspondant de tension inverse. [11]

1.22.4 Caractéristiques de la photodiode:

La figure ci-dessous montre la courbe caractéristique VI d'une photodiode:

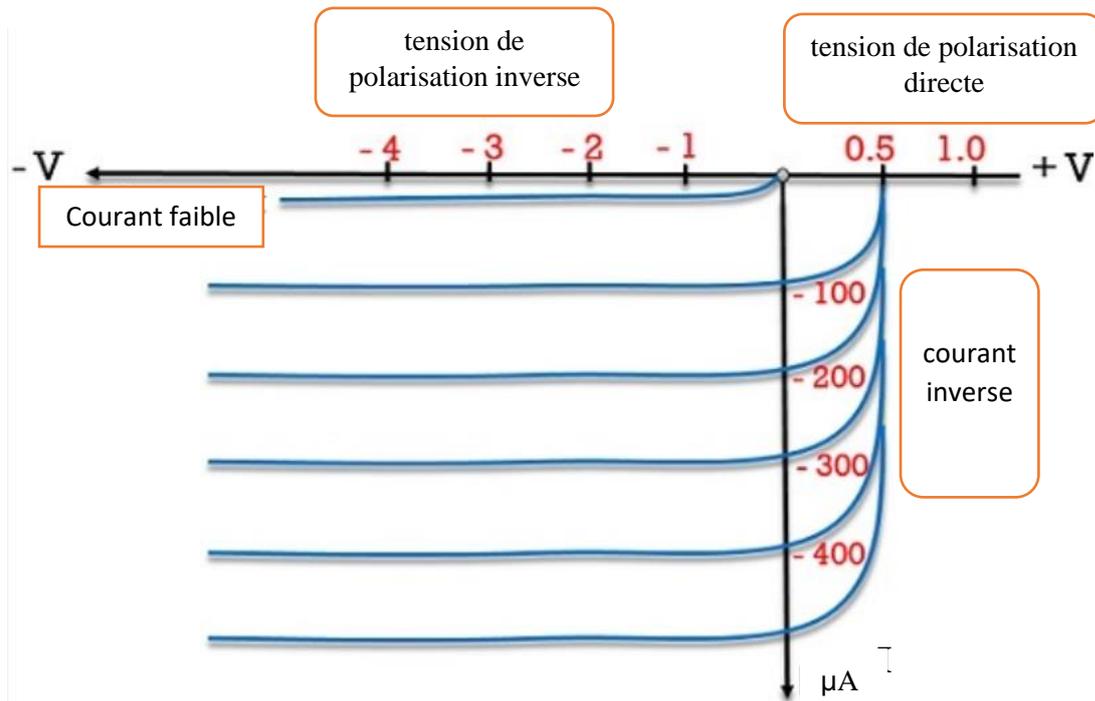


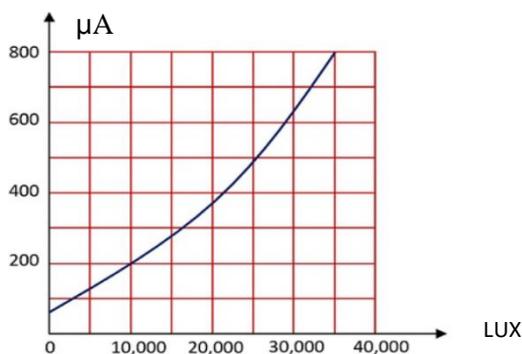
Figure 1.20 : Courbe caractéristique de la photodiode[11]

Ici, la ligne verticale représente le courant inverse circulant à travers le dispositif et la ligne horizontale représente le potentiel polarisé en inverse.

La première courbe représente le courant d'obscurité généré par les porteurs minoritaires en l'absence de lumière.

Comme on peut le voir sur la figure ci-dessus, toute la courbe montre un espacement presque égal entre elles. En effet, le courant augmente proportionnellement avec le flux lumineux.

La figure ci-dessous montre la courbe du courant en fonction de l'éclairage :



Il convient de noter ici que le courant inverse n'augmentera pas de manière significative lorsque le potentiel inverse augmente.

Figure 1.21 : Variation du courant en fonction de l'éclairage

1.22.5 Avantages et Inconvénient de la photodiode :

1.22.5.1 Avantages :

- Montre une réponse rapide lorsqu'il est exposé à la lumière.
- La photodiode a une vitesse de travail plus élevée.
- Fournit une réponse linéaire.
- C'est un appareil bon marché.

1.22.5.2 Inconvénient :

- C'est un appareil dépendant de la température, et montre une mauvaise stabilité de la température.
- Lorsque l'éclairage est faible, une amplification est nécessaire.

1.23 Phototransistor:

1.23.1 Généralité :

Outre la fabrication de dispositifs à jonction photo à partir de diodes, il est possible de construire un capteur de lumière à partir de transistors. Figurativement, un phototransistor est essentiellement une combinaison d'une photodiode et d'un transistor d'amplification. [12]

1.23.2 Définition:

Le phototransistor est un dispositif semi-conducteur capable de détecter les niveaux de lumière et de modifier le courant circulant entre l'émetteur et le collecteur en fonction du niveau de lumière qu'il reçoit.

Les phototransistors et les photodiodes peuvent tous deux être utilisés pour détecter la lumière, mais le phototransistor est plus sensible en raison du gain fourni par le fait qu'il s'agit d'un transistor bipolaire. Les phototransistors sont donc plus adaptés à un certain nombre d'applications. [13]



Figure 1.22 : Phototransistor[13]

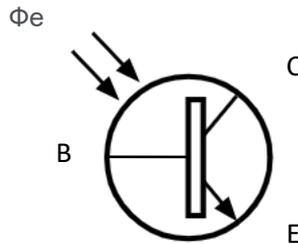


Figure 1.23 : Symbole de phototransistor

(Pour un dispositif basé sur un transistor NPN) [13]

Dans un transistor photo, la jonction collecteur-base agit comme une photodiode. La jonction collecteur-base est polarisée en sens inverse, ce qui l'expose à une source de lumière. Le courant à cette jonction est amplifié par l'action normale du transistor et le courant du collecteur est donc important. [12]

Remarque :

Les phototransistors peuvent être basés à la fois sur des transistors NPN et des transistors PNP. Il est donc parfaitement possible d'avoir un phototransistor PNP, et pour cela, le sens de la flèche sur l'émetteur est inversé de manière normale.

1.23.3 Principe de fonctionnement :

Le fonctionnement d'un phototransistor est similaire à celui d'une photodiode. Les avantages supplémentaires sont qu'ils peuvent fournir un grand courant collecteur et être plus sensibles que les photodiodes. Les courants dans un phototransistor sont 50 à 100 fois plus importants que dans le cas d'une photodiode. En connectant une photodiode entre les bornes de collecteur et de base d'un transistor normal, on peut le convertir en un phototransistor. [12]

1.23.4 Structure du phototransistor :

Bien que les transistors bipolaires ordinaires présentent les effets photosensibles s'ils sont exposés à la lumière, la structure du phototransistor est spécifiquement optimisée pour les applications photo. Le phototransistor a des surfaces de base et de collecteur beaucoup plus grandes que celles utilisées pour un transistor normal. Ces dispositifs étaient généralement réalisés par diffusion ou implantation ionique. [13]

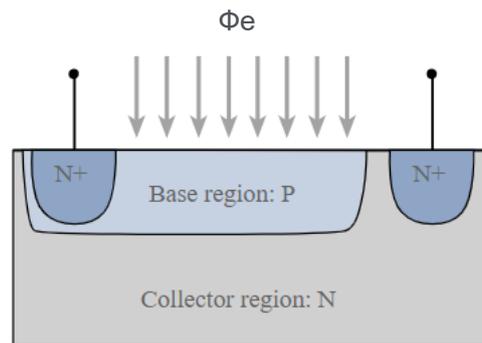


Figure 1.24 : Structure du phototransistor. [13]

1.23.5 Caractéristiques des phototransistors :

Les transistors photo sont essentiellement des transistors NPN dont la grande borne de base est isolée électriquement ou non connectée. Pour contrôler la sensibilité, certains transistors photo permettent une connexion de base. Si une connexion de base est utilisée, un courant de base est généré lorsque les photons frappent la surface, et provoque le passage d'un courant collecteur-émetteur.

Afin d'obtenir une polarisation inverse à la jonction collecteur-base, le collecteur est à un potentiel plus élevé par rapport à l'émetteur. En l'absence de lumière, une petite quantité de courant de fuite normal circule. En présence de lumière sur la borne de base, le nombre de paires électron-trou dans cette région augmente et le courant produit est amplifié par le fonctionnement du transistor. [12]

La relation entre l'intensité lumineuse, le courant et la tension de sortie est indiquée ci-dessous :

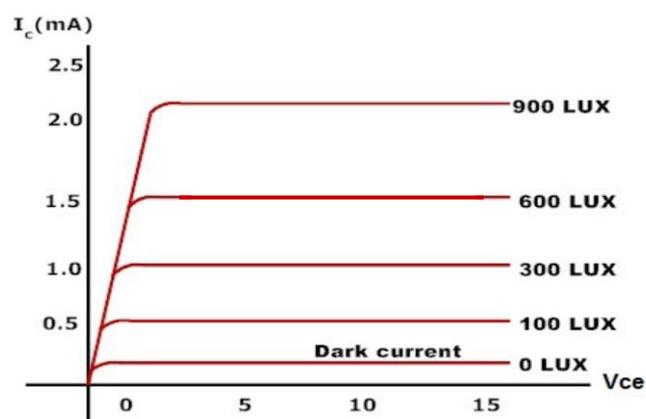


Figure 1.25 : La relation entre l'intensité lumineuse, le courant et la tension de sortie [12]

Les caractéristiques du phototransistor sous différentes intensités lumineuses. Elles sont très similaires aux caractéristiques d'un transistor bipolaire classique, mais les différents niveaux de courant de base sont remplacés par les différents niveaux d'intensité lumineuse.

Il existe une petite quantité de courant qui circule dans le phototransistor même en l'absence de lumière. Ce courant est appelé courant d'obscurité et représente le petit nombre de porteurs qui sont injectés dans l'émetteur. Comme les porteurs photo-générés, ce courant est également soumis à l'amplification par l'action du transistor. [13]

1.23.6 Applications des phototransistors :

Les applications concernent souvent l'interruption d'un faisceau lumineux, mais ils peuvent parfois être utilisés pour la détection du niveau de lumière.

1.23.7 Avantages et Inconvénients des phototransistors :

Le fait que les phototransistors soient faciles à utiliser et offrent de bonnes performances, dans leurs limites, signifie que ces dispositifs à semi-conducteurs sont utilisés dans une grande variété de circuits électroniques.

Ce sont là quelques-uns des principaux avantages et inconvénients de ce composant électroniques.

1.23.7.1 Avantages :

- Ils ont un gain relativement élevé et sont donc relativement sensibles.
- Ces composants électroniques sont relativement bon marché car il s'agit en fait d'un transistor ouvert à la lumière.
- Ils peuvent être incorporés dans un circuit intégré.
- Ils offrent une vitesse raisonnable. [13]

1.23.7.2 Inconvénients:

- Ces dispositifs ne peuvent pas supporter les tensions élevées d'autres dispositifs à semi-conducteurs comme les photo-thyristors et les triacs.
- Dans les applications où ils sont exposés à des pics de tension transitoires et à des surtensions, ils sont susceptibles d'être endommagés.
- Ils ne sont pas aussi rapides que d'autres composants électroniques sensibles à la lumière comme les photodiodes. [13]

1.24 Photorésistance :

1.24.1 Généralité:

Les photorésistances, ou LDR (light dependent resistors) en anglais, ont une résistance électrique R qui diminue quand l'éclairement E augmente:

Elles représentent une couche de semi-conducteur (sulfure de cadmium CdS ou de plomb PbS, séléniure de cadmium CdSe) sur support isolant dans un boîtier à fenêtre plastique transparente. La sensibilité des photorésistances dépend de la longueur d'onde λ du rayonnement:

Avec f la fréquence et $c=3 \times 10^8$ m/s - la célérité de la lumière à vide. Les photorésistances à CdSe par exemple ont une sensibilité maximale à $\lambda = 730$ nm (lumière rouge), et celles à PbS - à 22 000 nm (rayonnement infrarouge).

Les photorésistances se caractérisent par leur résistance électrique à l'obscurité (valeur minimale), leur résistance à un éclairement donné (50 lux par exemple) d'une longueur d'onde correspondant à leur sensibilité maximale, leur tolérance et leur puissance nominale. La résistance à l'obscurité est due à la température laquelle a le même effet que l'éclairement: grâce à l'énergie communiquée certains électrons de valence du semi-conducteur deviennent libres, ce qui diminue sa résistivité. Pour que la photorésistance puisse être considérée comme linéaire, il faut que sa température soit constante. [19]

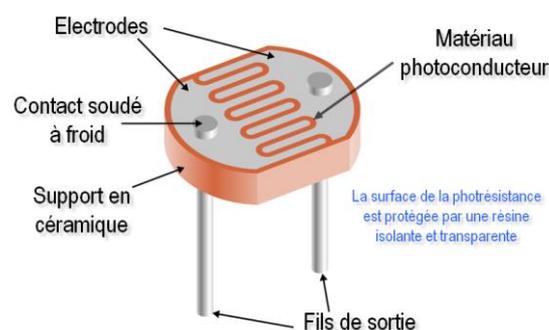


Figure 1.26 : construction typique d'une photorésistance[15]

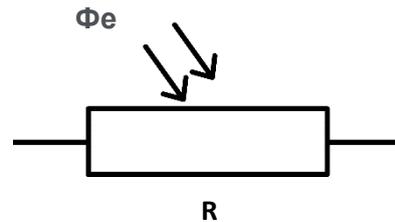


Figure 1.27 : symbole d'une photorésistance [15]

1.24.2 Principe de fonctionnement :

Les photorésistances sont des capteurs de lumière appelée LDR (Light Depending Resistor ou Resistance dépendant de la lumière). Le capteur LDR est une photorésistance, une cellule photoélectrique sensible à la quantité de lumière reçue. Une variation de lumière (ou d'ombre) provoque une variation de signal. C'est un capteur passif. Donc elle doit être utilisée soit avec une source de lumière spécifique, fonctionnant alors comme une barrière tendue entre la source de lumière et le capteur, soit en tant que capteur d'ambiance pour suivre l'évolution de l'intensité lumineuse d'un lieu [14]. Elles sont réalisées à partir d'un élément photosensible (le sulfure de cadmium) dont la résistance élevée dans l'obscurité diminue avec l'éclairement suivant la relation suivante : $R = A \cdot L^{-\alpha}$

Avec: R : résistance en Ohms, A et α : constantes, L : éclairement en Lux

1.24.3 Paramètres et caractéristiques :

Selon ses caractéristiques spectrales, la photorésistance peut être divisée en trois types de photorésistances : les photorésistances à ultraviolet, les photorésistances à infrarouge et les photorésistances à lumière visible. [15]

1.24.4 Les principaux paramètres :

1. Photocourant et résistance lumineuse. Sous une certaine tension appliquée, le courant qui circule est appelé photocourant lorsque la lumière est irradiée, et le rapport entre la tension appliquée et le photocourant est appelé résistance lumineuse, qui est généralement exprimée par "100LX".
2. Courant d'obscurité et résistance d'obscurité. Sous une certaine tension appliquée, la photorésistance est appelée courant d'obscurité lorsqu'il n'y a pas de lumière. Le rapport entre la tension appliquée et le courant d'obscurité est appelé résistance d'obscurité et est généralement exprimé par "0LX" (l'intensité lumineuse est mesurée avec un illuminancemètre et son unité est le lux lx).

3. Sensibilité. La sensibilité fait référence à la variation relative de la valeur de la résistance (résistance à l'obscurité) lorsque la photorésistance n'est pas éclairée par la lumière et de la valeur de la résistance (résistance à la clarté) lorsqu'elle est éclairée par la lumière.
4. Réponse spectrale. La réponse spectrale est également appelée sensibilité spectrale. Elle fait référence à la sensibilité de la photorésistance sous l'irradiation d'une lumière monochromatique de différentes longueurs d'onde. Si vous tracez la sensibilité à différentes longueurs d'onde, vous pouvez obtenir une courbe de la réponse spectrale.
5. Coefficient de température. L'effet photoélectrique de la photorésistance est fortement affecté par la température. Certaines photorésistances ont une sensibilité photoélectrique plus élevée à basse température, mais une sensibilité plus faible à haute température.
6. Caractéristiques d'illumination. Les caractéristiques d'illumination font référence aux caractéristiques du signal électrique émis par la photorésistance en fonction de l'illumination. La courbe des caractéristiques d'éclairage de la photorésistance montre que, lorsque l'intensité lumineuse augmente, la valeur de la résistance de la photorésistance commence à diminuer rapidement. Si l'intensité lumineuse augmente encore, la variation de la valeur de résistance diminue, puis devient progressivement douce. Dans la plupart des cas, cette caractéristique est non linéaire. [16]

En l'absence de lumière, la résistance d'une résistance dépendant de la lumière peut atteindre $10\text{ M}\Omega$. En présence de la lumière du soleil, la résistance d'une résistance dépendant de la lumière tombe à 100Ω . La variation de la résistance d'une résistance dépendant de la lumière en fonction de différentes intensités lumineuses est illustrée par la courbe ci-dessous. [15]

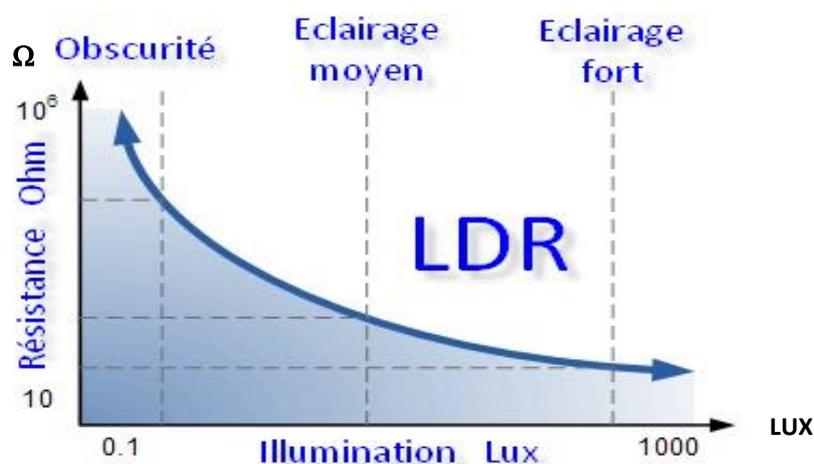


Figure 1.28 : Variation de la résistance en fonction de l'éclairage [15]

Dans l'obscurité, la résistance d'une LDR est proche de 1 MΩ. Avec un éclairage intense, la résistance chute fortement (quelques KΩ). Un pont diviseur permet de récupérer une tension qui sera directement le reflet de la lumière arrivant sur la LDR.

1.25 Loi de WEBER FECHNER :

1.25.1 Généralité :

En psychophysique, la loi de Weber-Fechner ou de Bouguer-Weber décrit la relation entre une sensation mentale et la grandeur physique d'un stimulus : par exemple, la relation entre la force perçue d'un son et la puissance de l'onde de pression dans l'air correspondante. [17]

Sur la mesure des sensations, Fechner déduit de la loi des erreurs. On donne d'abord le raisonnement mathématique très simple qui justifie la formule. On présente ensuite difficultés mathématiques et subtilités philosophiques qu'expérience et théorie concourent à découvrir derrière les notions de seuil et de sensation. [18]

1.25.2 Comment ça marche ?

Soit S un stimulus, agent physique (poids, température, courant électrique...) mesuré par un nombre noté aussi S. L'impression produite par le stimulus sur un sujet donné ne varie notablement que si S augmente (ou diminue) d'une quantité ΔS liée à S par la formule (loi de Weber) :

$$\Delta S = kS \quad (1.1)$$

où k est une constante propre au sujet. Il est plausible que si le sujet note la variation ΔS = kS, c'est qu'il y correspond une augmentation d'un degré constant ΔI indépendant de S dans la sensation ou impression psychique I(S) produite par S. Si ce degré constant est mesuré par le nombre unité, on pourra écrire :

$$\Delta I(S) = \frac{\Delta S}{kS} \quad (1.2)$$

ou, sous forme différentielle :

$$\frac{dI}{dS} = \frac{1}{kS} \quad (1.3)$$

et par intégration :

$$I(S) = \frac{1}{k} \text{Log}(S) + cst \quad (1.4)$$

On détermine cette constante d'après le seuil absolu S_0 , valeur du stimulus qui produit la plus petite impression perceptible, en posant :

$$I(S) = \frac{1}{K} \text{Log}(S/S_0) \quad (1.5)$$

C'est la loi de Fechner (ou de Weber-Fechner), selon laquelle la sensation est proportionnelle au logarithme de l'excitation. [18]

1.26 Conclusion :

Dans ce chapitre, on a présenté la science qui étudie la lumière avec l'électronique et regroupe les notions de base de la vision humaine. L'optoélectronique est en train de devenir un domaine technique en émergence rapide, qui consiste à travers des dispositifs électroniques utilisés la recherche, la détection et le contrôle précis de la lumière de façon très efficace ce qui a contribué au développement du domaine de l'optique par rapport aux anciennes époques.

Chapitre2

Signaux et Systèmes

2 Chapitre 2 : Signaux et Systèmes

2.1 Introduction:

Tout domaine technique a besoin des résultats exactes et précis, pour cela l'usage des dispositifs convenables est très important dans les réalisations des circuits et des bascules qui dépend sur des lois et des théorèmes fixes qui donnent la forme voulue des signaux à analyser.

2.2 Généralité sur les signaux:

Aujourd'hui, la théorie du signal est devenue un sujet essentiel. Son but est d'élaborer ou d'interpréter le signal porteur d'informations. Son objectif est donc de s'appuyer sur des équipements électroniques et des ressources informatiques pour réussir à extraire les informations les plus utiles sur le signal brouillé par le bruit (le bruit correspond à tout phénomène d'interférence qui gêne la transmission ou l'interprétation du signal). Le concept de signaux est très large. En physique, un signal est toute grandeur mesurable, qui dépend d'autres grandeurs, telles que l'espace, le temps, la température, l'éclairement, etc. En d'autres termes, un signal est une représentation physique d'informations, qui sont transmises de la source au récepteur. La description mathématique des signaux est le but de la théorie des signaux. Il fournit des méthodes d'analyse, de conception et de caractérisation des systèmes de traitement de l'information. Généralement, un signal peut être modélisé en fonction d'une ou plusieurs variables. Cette représentation n'est pas toujours résumée dans des expressions mathématiques compactes. [20]

2.3 Définition :

Un signal est le support physique d'une information. Par exemple, les signaux sonores sont des fluctuations de la pression de l'air transportant un message à notre oreille; les signaux visuels sont des ondes de lumière apportant une information à notre œil. Mathématiquement, les signaux sont représentés par une fonction d'une ou plusieurs variables. Une grande majorité des signaux sont fonction d'une variable. Généralement, cette variable est le temps. L'information transportée par un signal se manifeste alors par une variation au cours du temps. Toutefois, le temps n'est pas la seule variable dont un signal peut dépendre; les variations de la pression en fonction de l'altitude ou les variations de la température en fonction du lieu sont également des exemples de signaux. Il existe aussi des signaux fonctions de plusieurs variables comme par exemple une image qui est caractérisée par une

intensité lumineuse dépendante de deux variables représentant le système de coordonnées dans le plan de l'image. [21]

2.4 Signaux continus ou discrets:

La première classification des signaux est basée sur la représentation du temps et de l'amplitude. Le temps et l'amplitude peuvent varier continuellement et peuvent également décrire un ensemble de points dénombrables. Il y a quatre types de signaux:

- Signaux analogiques : temps et amplitudes continus ;
- Signaux échantillonnés : temps discret et amplitude continue ;
- Signaux quantifiés : temps continu et amplitude discrète ;
- Signaux numériques : temps et amplitudes discrets.

Les figures suivantes illustrent les quatre types pour un même signal analogique initial **figure 2.1** où le temps et amplitudes continus.

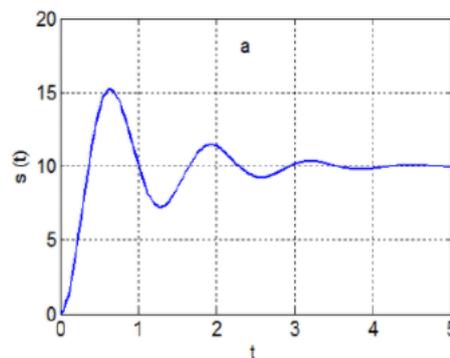


Figure 2.1 :Signal analogique : temps et amplitudes continus[20]

Sur la **figure 2.2** le signal n'est défini qu'à des instants régulièrement espacés (signal échantillonné ; temps discret et amplitude continue)

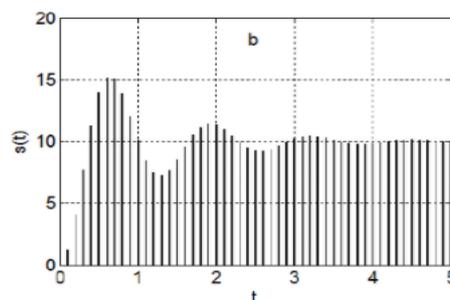


Figure 2.2 : Signal échantillonné : temps discret et amplitude continue[20]

Sur la **figure 2.3** le signal est quantifié en amplitude (les valeurs de quantification sont représentées par les pointillés horizontaux), mais continu en temps

2

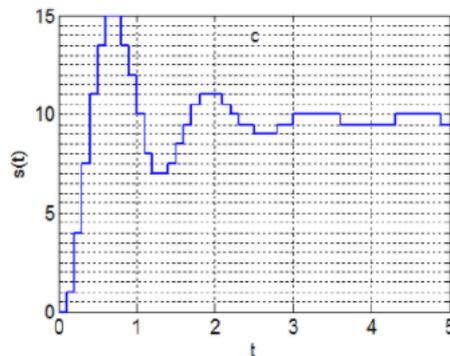


Figure 2.3 : Signal quantifié: temps continu et amplitude discrète[20]

La dernière représentation **figure 2.4** est le signal numérique où le signal est à la fois échantillonné et quantifié.

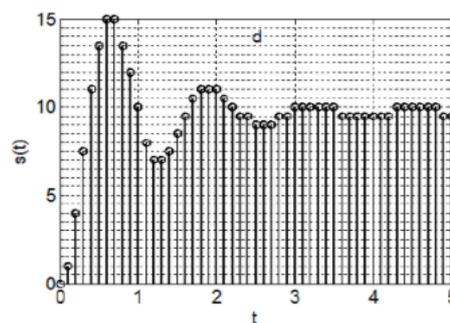


Figure 2.4 : Signaux numériques : temps et amplitudes discrets[20]

2.5 Générateur de signaux :

2.5.1 Définitions :

Un générateur de signaux est un circuit électronique qui permet d'obtenir des formes d'ondes désirées à des fréquences et des rapports cycliques maîtrisés. Parmi les formes d'ondes les plus utilisées il y a :

1. Le signal carré.
2. Le signal en dent de scie.
3. Le signal triangulaire.

4. Le signal sinusoïdal.

2.5.2 Quelques Méthodes pour la génération de signaux :

Il existe plusieurs façons de générer des signaux. Il existe des montages très simples et qui nous permettent d'obtenir un générateur de signaux. Il y a le circuit astable à base de 2 transistors, 2 capacités et 4 résistances choisit correctement on obtient un générateur de signal carré montrée dans **Figure II.5** et si l'on veut réaliser à base de celui-ci un générateur de sinusoïde on fait passer ce signal dans une bobine correctement dimensionnée et sachant qu'une bobine est un filtre qui fait passer la fondamentale et faisant référence aux sériesde Fourier on sait que l'on aura en sortie une sinusoïde. Pour obtenir une dent de scie il suffit juste d'intégrrer le signal carré. La charge et la décharge à courant constant d'une capacité nous permet aussi d'obtenir une dent de scie. [22]

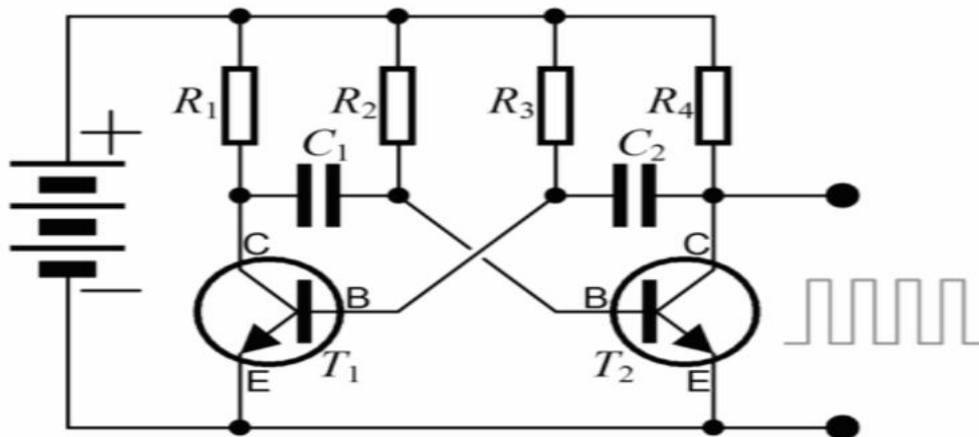


Figure 2.5 : Montage astable à base de transistors[22]

Un calcul simple montre que la valeur approchée de la période du multivibrateur est :

$$T = 0,7(RB2.C1 + RB1.C2)$$

Pour générer un signal dent de scie :

Il existe plusieurs façons pour générer un signal en dent de scie (autrement appelé Rampe)

- 1. Charge à courant constant en utilisant un UJT (uni junction transistor).
- 2. En utilisant la particularité qu'une dent de scie est un cas particulier d'un signal triangulaire. Si le signal d'entrée de l'intégrateur est asymétrique donc bascule entre Usat et GND en sortie de celui-ci on aura une dent de scie.

- 3. On met à profit la forme d'onde de la charge très rapide d'un condensateur. La charge s'effectue via une résistance en série et la décharge est produite via la saturation d'un transistor connecté en parallèle pour lui offrir un chemin rapide. [30]

2.6 Les amplificateurs opérationnels :

2.6.1 Généralité :

L'amplificateur opérationnel est un dispositif d'amplification polyvalent, initialement destiné à être utilisé dans les ordinateurs analogiques pour effectuer des opérations mathématiques linéaires. Quarante ans de développement de la conception du circuit interne de l'amplificateur opérationnel reflètent, dans une large mesure, le développement des composants électroniques, des tubes à vide aux circuits intégrés monolithiques. Un raffinement croissant des propriétés de l'amplificateur opérationnel a déplacé l'accent de ses applications des laboratoires vers l'industrie. En raison de ses performances élevées, de sa grande variété et de son faible prix, l'amplificateur opérationnel domine désormais le domaine des systèmes électroniques analogiques. [23]

Voici un exemple d'amplificateur opérationnel montré dans la figure II.6 :

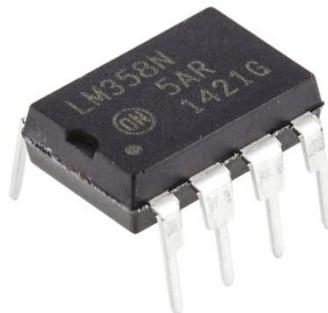


Figure 2.6 : amplificateur opérationnel

Les symboles anglo-saxon et européens utilisés dans certains ouvrages :

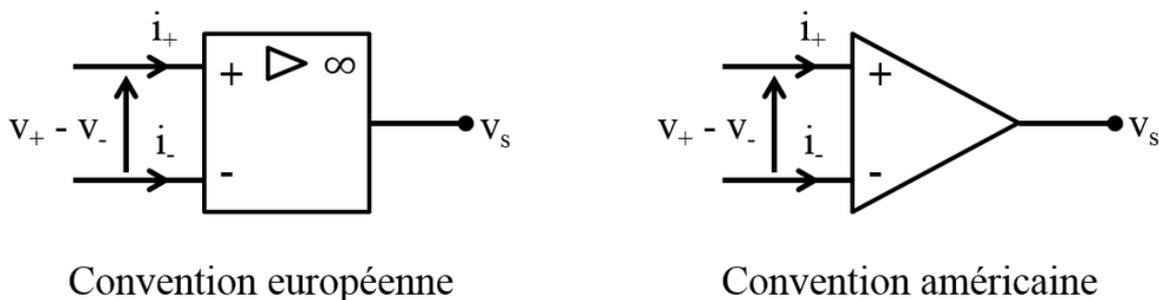


Figure 2.7 : Symbole de l'amplificateur opérationnel [23]

2.6.2 Définition:

Nous définissons généralement l'amplificateur opérationnel comme un amplificateur à couplage direct avec un gain élevé et un faible niveau de bruit inhérent, capable de fonctionner de manière stable dans une boucle de rétroaction fermée. Il convient de mentionner ici que le terme "couplage direct" n'implique pas une limitation supérieure de la réponse en fréquence de l'amplificateur mais, au contraire, une extension de la gamme de fonctionnement à la fréquence zéro, ou à des périodes infiniment longues. [23]

Les figures 8 et 9 montrent les branchements, selon le modelé, pour la polarisation de l'amplificateur opérationnel. Certains amplificateurs opérationnels nécessitent deux tension de polarisation (fig. 8)

A la figure 8 correspond l'équation des courants de Kirchhoff suivante :

$$i^+ + i^- + i_{cc}^+ + i_{cc}^- = i_0$$

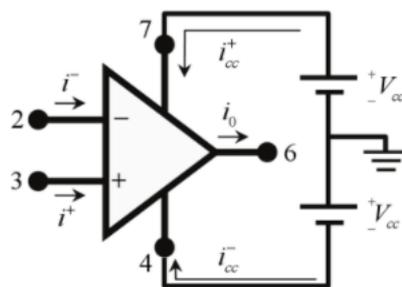


Figure 2.8 : amplificateur opérationnel à deux tension de polarisation[23]

Alors que d'autre ont besoin d'une seule tension de polarisation (fig. 9) : i^+

$$i^+ + i^- + i_{cc}^+ = i_0$$

A la figure II.9 correspond l'équation des courants de Kirchhoff suivante :

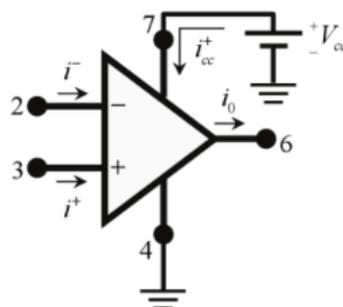


Figure 2.9 : amplificateur opérationnel à une tension de polarisation[23]

2.6.3 Caractéristiques statiques :

En régime permanent ou lentement variable, on peut tracer la caractéristique statique, graphe reliant la tension différentielle d'entrée $\varepsilon = V_+ - V_-$, et la tension de sortie V_s , représenté sur la **figure II.10**

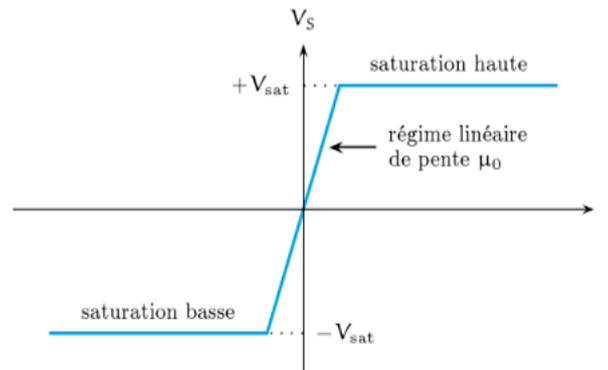


Figure 2.10 : caractéristique statique $V_s(\varepsilon)$. [24]

Supposant ici que la courbe était symétrique; ce n'est en général pas le cas, mais les deux bornes d'équilibrage offset permettent de compenser ce défaut et on se ramène au graphe **figure II.10**.

Pour des valeurs de ε assez faibles, la relation entrée-sortie est linéaire: $V_s = \mu_0(V_+ - V_-)$, où μ_0 est le gain statique de l'amplificateur. Par construction, V_s reste dans l'intervalle $[-V_{sat}; +V_{sat}]$ avec $V_{sat} \simeq 13$ V. Cela donne lieu au phénomène de **saturation en tension de sortie**. C'est un effet non linéaire.

Pour les amplificateurs opérationnels couramment utilisés, μ_0 est de l'ordre de 10^5 . Cette valeur relativement importante limite donc le domaine linéaire à des valeurs de la tension différentielle $|\varepsilon| < 13$ mV, ce qui est très faible au regard des tensions des signaux utilisés. Le composant a donc toutes les chances de fonctionner en saturation, haute ou basse. C'est pour cette raison que, dans les montages où l'on désire faire fonctionner l'amplificateur opérationnel en régime linéaire, il est indispensable d'utiliser une boucle de rétroaction permettant de le stabiliser. [24]

2.7 Quelques applications des amplificateurs opérationnels :

2.7.1 Amplificateur de tension inverseur :

Schéma

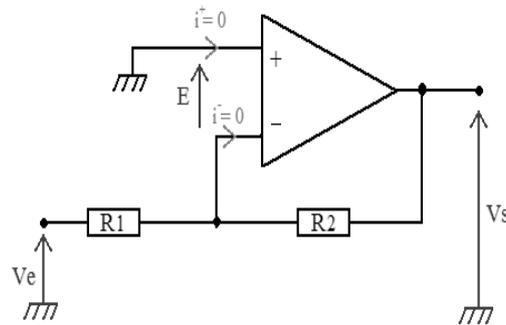


Figure 2.11 : Amplificateur de tension inverseur[25]

Formule

$$v_s = -\frac{R_2}{R_1} v_e$$

Remarques

V_s peut être soit :

- amplifiée:** lorsque $R_1 > R_2$
- atténuée:** lorsque $R_1 < R_2$

La résistance d'entrée du montage est R_1 , donc cette résistance ne peut pas être très élevée par rapport aux autres montages vu précédemment. [25]

2.7.1 Amplificateur de tension non-inverseur:

Schéma

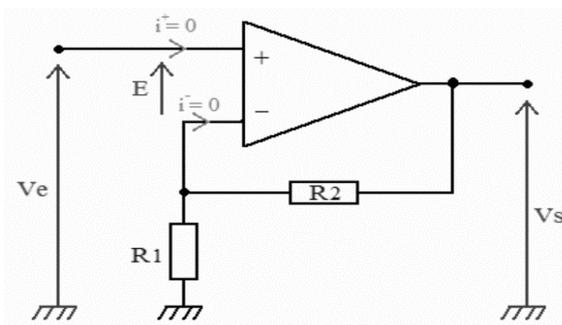


Figure 2.12 : Amplificateur de tension non-inverseur[25]

Formule

$$v_s = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) v_e$$

Remarques

L'amplitude de V_s est supérieur à celle de V_e (c'est pour cela qu'il est "non-inverseur")
La résistance en entrée du montage est **infinie**. Donc le courant d'entrée est nul. [25]

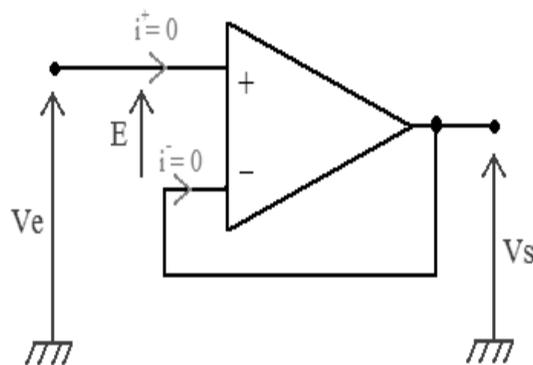
2.7.2 Amplificateur suiveur de tension :**Schéma**

Figure 2.13 : Amplificateur suiveur de tension [25]

Formule

$$V_s = V_e$$

Remarques

L'amplificateur suiveur de tension est un cas particulier du montage non inverseur. La résistance en entrée du montage est **infinie**. Le suiveur de tension permet de prélever une tension sans la perturber, car il possède un **courant d'entrée nul**. On le rencontre donc régulièrement lors de la présence de sonde. [25]

2.7.3 Amplificateur de différence :**Schéma**

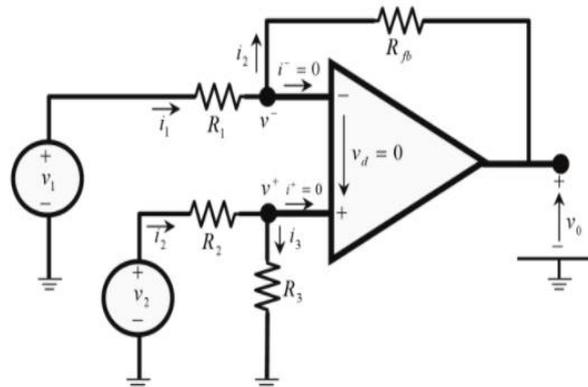


Figure 2.14 : Amplificateur différentiel[26]

Formule

Le montage de l'amplificateur de différence dans la figure permet d'obtenir un signal de sortie égale à la différence algébrique des signaux pondérées appliqué à l'entrée de l'amplificateur opérationnel. [26]

L'application de la méthode des tensions de nœud à l'entrée inverseuse donne : (2.1)

$$\frac{v_1 - v^-}{R_1} = \frac{v^- - v_0}{R_{fb}} \Rightarrow v_0 = \left(1 + \frac{R_{fb}}{R_1}\right) v^- - \frac{R_{fb}}{R_1} v_1 \dots\dots\dots(2.1)$$

L'application de la méthode des tensions de nœud à l'entrée noninverseuse donne :(2.2)

$$\left\{ \frac{v_2 - v^+}{R_2} = \frac{v^+}{R_3} \right\} \Rightarrow v^- = \frac{R_3}{(R_2 + R_3)} v_2 \dots\dots\dots(2.2)$$

Avec $v^+ = v^-$

La substitution de la relation (2.1) dans (2.2) donne l'expression suivante :

$$v_0 = \frac{R_{fb}}{R_1} \frac{\left(1 + \frac{R_1}{R_{fb}}\right)}{\left(1 + \frac{R_2}{R_3}\right)} v_2 - \frac{R_{fb}}{R_1} v_1$$

2.7.4 Amplificateur intégrateur :

Schéma

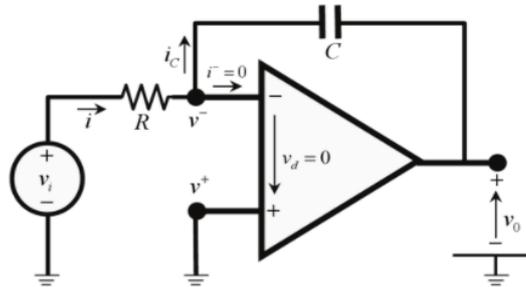


Figure 2.15 : Amplificateur intégrateur [26]

Formule

Pour un amplificateur intégrateur on a les équations :

$$\left\{ \begin{array}{l} i = i_c \Rightarrow \frac{v_1 - v^-}{R} = C \frac{dv_c}{dt} = C \frac{d(v^- - v_0)}{dt} \\ v^- = v^+ = 0 \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{v_1}{R} = -C \frac{dv_0}{dt} \quad (2.3)$$

$$v_0 = v_0(t=0) - \frac{1}{RC} \int_0^1 v_1 dt \quad (2.4)$$

Remarque :

L'amplificateur intégrateur c'est le même l'inverseur en remplaçant la résistance de contre-réaction de l'inverseur par une capacité.

2.7.5 Amplificateur antilogarithmique :

L'amplificateur anti-logarithmique ou amplificateur anti-logarithmique est un circuit qui produit une sortie proportionnelle au logarithme de l'entrée appliquée. Cette section décrit en détail l'amplificateur anti-logarithmique basé sur l'amplificateur opérationnel. L'amplificateur anti-log basé sur l'ampli opérationnel produit une tension en sortie qui est proportionnelle à l'anti-log de la tension appliquée à la diode connectée à sa borne inverseuse. La figure suivante montre le schéma de circuit de l'amplificateur anti-logarithmique basé sur l'ampli opérationnel : [27]

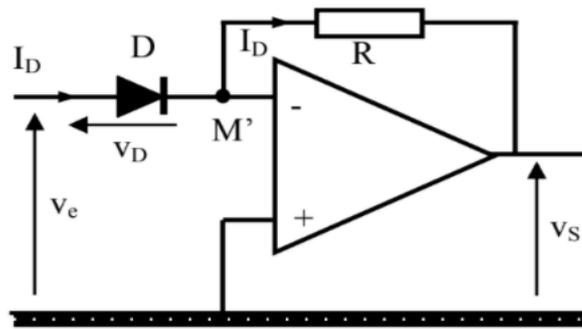


Figure 2.16 : d'un amplificateur anti-logarithmique à une diode $V_e > 0$ [29]

2.7.5.1 Principe de fonctionnement :

Comme le montre la figure ci-dessus, une rétroaction négative peut être obtenue en connectant la sortie à la borne d'entrée inverseuse. Selon le concept de masse virtuelle entre les bornes d'entrée de l'amplificateur, la tension V_1 à la borne inverseuse sera nulle. En raison de l'impédance d'entrée infinie idéale, le courant traversant la diode n'entrera pas dans l'amplificateur opérationnel en raison de la tension d'entrée appliquée à la borne inverseuse. Au lieu de cela, il passera à travers la résistance R le long du chemin de rétroaction, comme illustré. [28]

Remarque :

Le point M' est la masse virtuelle. C'est pour cela qu'il faudrait que la tension d'entrée soit positive pour que le circuit puisse fonctionner en amplificateur anti-log. [29]

A défaut de cela, la sortie sera nulle car la diode reste bloquée :

$$V_e > 0$$

$$V_s = R I_D \quad \text{et} \quad V_e = V_{dD}$$

$$V_s = -R I_{DS} \left(e^{\frac{V_e}{V_T}} - 1 \right) \approx -R I_{DS} \cdot e^{\frac{V_e}{V_T}} \quad (2.5)$$

Si la tension d'entrée $\langle V_e \rangle$ est négative, il faudrait inverser le sens de branchement de la diode comme l'indique le schéma de la figure 2.17 :

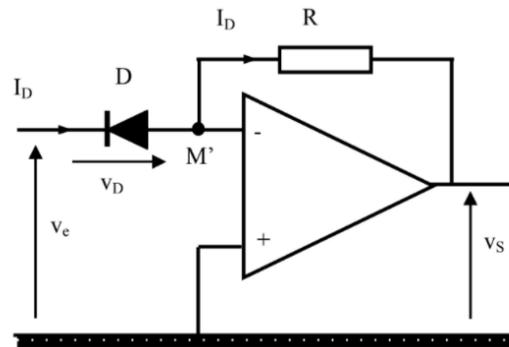


Figure 2.17 : schéma d'un amplificateur anti-logarithmique à une diode $V_e < 0$ [29]

Ça donne les équations suivantes :

$$V_s = R I_D \text{ et } V_e = -V_D \quad (2.6)$$

$$V_s = R I_{DS} \left(e^{-\frac{V_e}{V_T}} - 1 \right) \approx R I_{DS} \cdot e^{-\frac{V_e}{V_T}} \quad (2.7)$$

2.8 Bascule de schmitt :

2.8.1 Définition :

Un trigger ou bascule de Schmitt est un circuit comparateur de signaux avec une période d'hystérésis (deux seuils de comparaison). Il peut également être appelé un commutateur de seuil. Le déclencheur de Schmitt est un bistable (deux états stables), qui fait appel de façon interne à l'emploi d'une réaction positive.

Les bascules Schmitt sont utilisées pour diverses fonctions électroniques. Les plus importants sont:

- -La mise en forme du signal carré (front montant et descendant) qui est pré-déformé par le circuit en aval de la bascule ou immergé dans le bruit;
- -Convertissez le signal analogique en un signal carré presque parfait;
- -Déclencher le circuit dès qu'un certain seuil a priori est dépassé.

Les seuils de basculement peuvent être symétrique ou asymétrique, selon l'organisation du circuit et son application. L'une des applications intéressantes des déclencheurs de Schmitt est de remodeler les signaux numériques endommagés par le bruit figure II.18 [29]

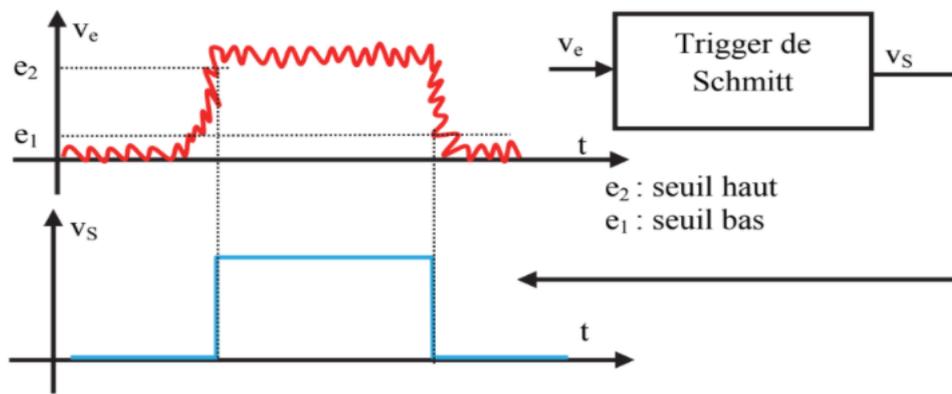


Figure 2.18 : Exemple d'application de bascule de schmitt : remise en forme d'un signal carrée[29]

2.8.2 Application de la bascule de schmitt :

La principale application des bascules de Schmitt, est de remodeler les signaux analogiques pour les appliquer aux circuits logiques (tels que les entrées de compteur). Cet usage est parfois appelé circuit de "conformateur".

Les déclencheurs de Schmitt peuvent également être utilisés pour:

- Éliminer le bruit,
- Créer un circuit de contrôle avec hystérésis: thermostat, interrupteur crépusculaire, maintenir le niveau de liquide dans le réservoir, etc...[31]

La bascule de schmitt peut être réaliser en pas mal de façon, citant :

2.9 Bascule de schmitt à base de transistors bipolaires :

La figure 2.19 , représente le schéma d'une bascule de schmitt à base de transistors bipolaires :

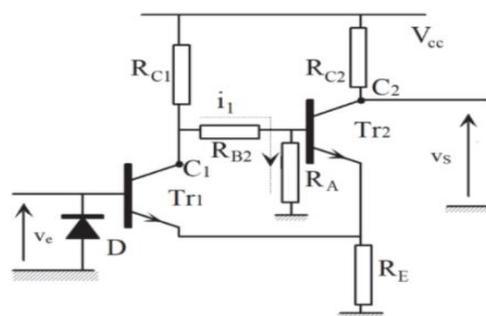


Figure 2.19 : bascule de schmitt à base de transistors bipolaires [29]

2.10 Bascule de schmitt à base d'un amplificateur opérationnel :

2.10.1 Bascule de schmitt inverseuse :

Il est capable de réaliser une bascule de schmitt de façon très simple et efficace en utilisant simplement des AOP, figure :

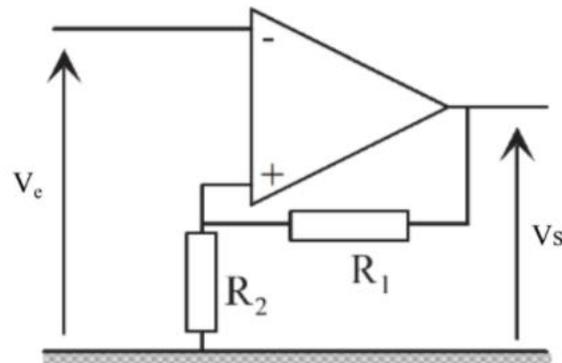


Figure 2.20 : Bascule de schmitt inverseuse à amplificateur opérationnel[29]

2.10.2 Bascule de schmitt non inverseuse :

Dans la bascule schmitt non inverseuse , le signal d'entrée est injecté à l'entrée non inverseuse , comme il est montré dans la figure

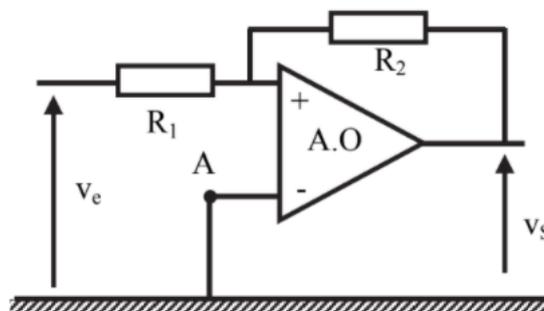


Figure 2.21 : Bascule de schmitt non inverseuse à amplificateur opérationnel[29]

2.10.2.1 Fonctionnement :

Afin de comprendre les circuits et les phénomènes qui contrôlent le fonctionnement des verrous de Schmitt, ce type de circuit est avant tout pédagogique. D'un point de vue pratique, il présente peu d'intérêt du fait de l'intégration de la plupart des fonctions électroniques. Cependant, la compétence théorique de ce circuit peut faciliter la compréhension du phénomène des déclencheurs de Schmitt intégrés.

Prenant comme exemple de fonctionnement la bascule la bascule inverseuse :

Dans la bascule schmitt à AOP inverseuse , l'attaque ou le signal d'entrée est injecté à l'entrée inverseuse, le principe de ce circuit s'établit comme suit :

Etape 1 :

Au début, on suppose que le circuit est à l'état de repos, donc aucun ne courant traverse R2. Lorsque V_e est >0 , la sortie est à l'Etat de saturation basse . Dans ce cas on peut écrire :

$$V_s = -V_{sat}$$

La tension appliquée sur l'entrée non inverseuse est donnée par :

$$V_{e+} = -\frac{R_2}{R_1+R_2}V_{sat} = V_1 \quad (2.8)$$

Etape 2 :

Lorsque V_e devient inférieure a V_1 appliquée sur l'entrée non inverses, la sortie bascule vers l'état haut :

$$V_s = +V_{sat}$$

V_e est exprimée par :

$$V_{e+} = \frac{R_2}{R_1+R_2}V_{sat} = V_2 \quad (2.9)$$

Etape 3 :

Lorsque V_2 dépasse V_1 la sortie rebascule vers l'état bas, alors :

$$V_s = -V_{sat}$$

$$V_{e+} = -\frac{R_2}{R_1+R_2}V_{sat} = V_1 \quad (2.10)$$

On se rend donc compte que les deux seuils d'inclinaison de la bascule de Schmitt sont représentés par les valeurs V_1 (seuil bas) et V_2 (seuil haut) (représentées sur la figure 2.22 respectivement e_1 et e_2). Pour illustrer le fonctionnement de la bascule de Schmitt, supposons qu'un signal sinusoïdal d'une amplitude de 2 volts à l'entrée est appliquée.

Les résistances R_2 et R_1 sont respectivement de $1K\Omega$ et $10K\Omega$. Les tensions d'alimentation symétrique sont égales à $\pm V_{cc} = + 10$ volts. La figure montre l'évolution du signal de sortie

correspondant au signal appliqué à l'entrée de la bascule Schmitt. Un amplificateur opérationnel *Rail to Rail* ($V_{sat} = V_{cc}$) est utilisée pour les tests. [29]

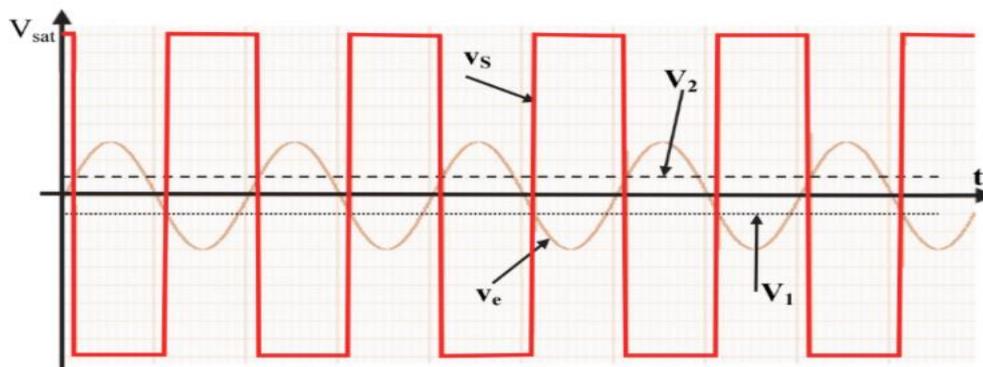


Figure 2.22 : Evolution du signal de sortie V_s en relation avec le signal V_e appliquée à l'entrée de la bascule de schmitt à AOP.[29]

Les valeurs de commutations haut et bas sont données par :

Seuils haut $V_2=0,9V$;

Seuils bas $V_1=0,9V$.

Le cycle d'hystérésis ou la fonction de transfert de cette bascule est représentée dans la figure suivante :

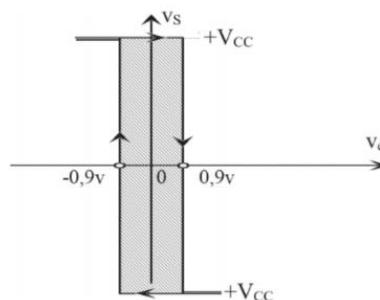


Figure 2.23 : Cycle d'hystérésis de la bascule de Schmitt inverseuse à AOP[29]

2.11 Conversion tension/courant :

2.11.1 Pourquoi la conversion de la tension en courant :

Dans les applications industrielles, il est souvent nécessaire de transporter la tension d'un endroit (d'un capteur) à un autre endroit (système d'acquisition de données). Pendant le transport, la tension chute dans le câble et, à l'autre extrémité, la tension de sortie est inférieure à la tension réelle.

Ce problème peut être évité en utilisant un convertisseur de tension en courant. Le courant reste constant sur toute la longueur du câble et il est moins sensible aux bruits extérieurs.

En outre, dans de nombreuses expériences de laboratoire, pour tester de nombreux composants de circuit, ce circuit convertisseur de tension en courant est très utile.

Ce type de sources de courant est également connu sous le nom de source de courant contrôlée par la tension. En effet, le courant de sortie peut être contrôlé en changeant la tension d'entrée.

2.11.2 Application du convertisseur tension-courant :

- 1) Tester les composants du circuit (diode, diode Zener).
- 2) Piloter les LEDs
- 3) Convertir la tension du capteur en courant (4-20 mA) dans les applications industrielles.
 - La conversion tension courant peut se faire tout simplement à l'aide d'un miroir de courant ou une source de courant commandée en tension.

Qu'est-ce qu'un miroir de courant ? Circuit et fonctionnement :

Pour concevoir le circuit intégré monolithique, la technique la plus populaire est utilisée, à savoir le miroir de courant. Dans cette méthode, la conception du circuit peut être faite pour copier le flux de courant d'un dispositif énergétique à un autre, y compris la fonction de contrôle du courant. Ici, le flux de courant peut être copié sous forme d'inversion d'un dispositif à l'autre. Une fois que le flux de courant dans le premier dispositif actif est modifié, le courant de sortie réfléchi par l'autre dispositif actif sera également modifié. C'est pourquoi le circuit miroir de courant est souvent appelé CCCS (Current Controlled Current Source). [31]

2.12 Qu'est-ce qu'un miroir de courant ?

Le circuit utilisé pour copier le flux de courant dans un dispositif actif et contrôler le flux de courant dans un autre dispositif en maintenant le courant de sortie stable au lieu de le charger est connu comme un miroir de courant. Théoriquement, un miroir de courant parfait est un amplificateur de courant inverseur. La fonction principale de cet amplificateur est d'inverser la direction du flux de courant. La fonction principale du miroir de courant est de fournir des charges actives ainsi que des courants de polarisation aux circuits et également utilisé pour former une source de courant plus pratique. [31]

2.12.1 Caractéristiques des miroirs :

Il existe trois spécifications principales qui caractérisent un miroir de courant. **La première** est le rapport de transfert (dans le cas d'un amplificateur de courant) ou l'amplitude du courant de sortie (dans le cas d'une source de courant constant CCS). L'amplitude du courant de sortie (dans le cas d'une source de courant constant CCS). **La seconde** est sa résistance de sortie AC, qui détermine la variation du courant de sortie en fonction de la tension appliquée à la source de courant de sortie varie en fonction de la tension appliquée au miroir. **La troisième** spécification est la chute de tension minimale à travers la partie de sortie du miroir nécessaire pour qu'il fonctionne correctement. Cette tension minimale est dictée par la nécessité de maintenir le transistor de sortie du miroir en mode actif. La gamme de la plage de tensions dans laquelle le miroir fonctionne est appelée la plage de conformité et la tension marquant la limite entre un bon et un mauvais comportement est appelée la tension de conformité. Les miroirs posent également un certain nombre de problèmes de performance secondaires, par exemple la stabilité en température. [32]

2.12.2 L'idée d'un miroir de courant à base de transistors bipolaire:

Un transistor bipolaire peut être utilisé comme le convertisseur tension-courant le plus simple, mais son rapport de transfert dépendrait fortement des variations de température, des tolérances β , etc. Pour éliminer ces perturbations indésirables, un miroir de courant est composé de deux convertisseurs courant-tension et tension-courant en cascade placés dans les mêmes conditions et ayant des caractéristiques inverses. Il n'est pas obligatoire qu'ils soient linéaires ; la seule exigence est que leurs caractéristiques soient semblables à celles d'un miroir (par exemple, dans le miroir de courant à transistors dans la **figure 2.24** ci-dessous). Habituellement, deux convertisseurs identiques sont utilisés, mais la caractéristique du premier est inversée en appliquant une contre-réaction. Ainsi, un miroir de courant se compose de deux convertisseurs égaux en cascade (le premier - inversé et le second - direct). [32]

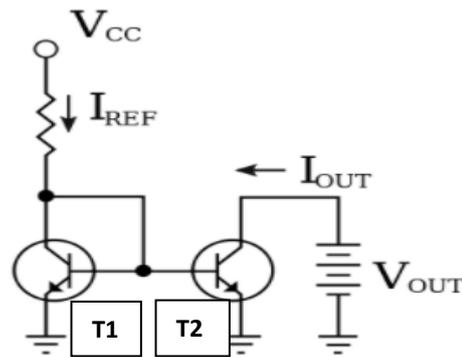


Figure 2.24 : Un miroir de courant réalisé avec des transistors bipolaires NPN utilisant une résistance pour régler le courant de référence I_{REF} ; V_{CC} = tension d'alimentation.[32]

2.12.3 Miroir de courant MOSFET de base :

Le miroir de courant de base peut également être mis en œuvre en utilisant des transistors MOSFET, comme le montre la figure 2. Le transistor M1 fonctionne en mode de saturation ou actif, tout comme M2. Dans cette configuration, le courant de sortie I_{out} est directement lié à I_{REF} , comme nous le verrons plus loin.

Le courant de drain I_D d'un MOSFET est une fonction de la tension grille-source et de la tension drain-grille du MOSFET donnée par $I_D = f(V_{GS}, V_{DG})$, une relation dérivée de la fonctionnalité du dispositif MOSFET. Dans le cas du transistor M1 du miroir, $I_D = I_{REF}$. Le courant de référence I_{REF} est un courant connu, et peut être fourni par une résistance comme indiqué, ou par une source de courant "référéncée par un seuil" ou "auto-biaisée" pour garantir qu'il est constant, indépendamment des variations de la tension d'alimentation comme il est montrée dans la **Figure2.25** [33]

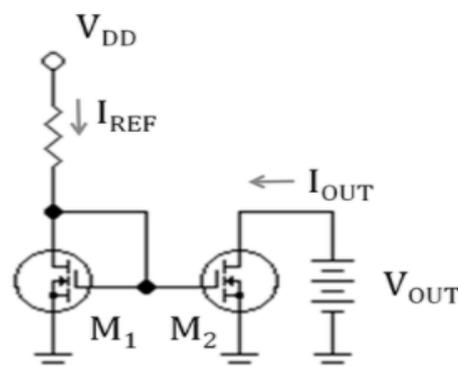


Figure 2.25 : Un miroir de courant MOSFET avec une résistance pour régler le courant de référence I_{ref} ; V_{DD} est la tension d'alimentation.[33]

En utilisant $V_{DG} = 0$ pour le transistor M1, le courant de drain dans M1 est $I_D = f(V_{GS}, V_{DG}=0)$, on trouve donc : $f(V_{GS}, 0) = I_{REF}$, déterminant implicitement la valeur de V_{GS} . Ainsi, I_{REF} détermine la valeur de V_{GS} . Le circuit du schéma force le même V_{GS} à s'appliquer au transistor M2. Si M2 est également polarisé avec un V_{DG} nul et à condition que les transistors M1 et M2 aient une bonne correspondance de leurs propriétés, telles que la longueur et la largeur du canal, la tension de seuil, etc., la relation $I_{out} = f(V_{GS}, V_{DG} = 0)$ s'applique, fixant ainsi $I_{out} = I_{REF}$; c'est-à-dire que le courant de sortie est le même que le courant de référence lorsque $V_{DG} = 0$ pour le transistor de sortie, et que les deux transistors sont appariés. [34]

2.12.4 Autres miroirs de courant :

Il existe de nombreux miroirs de courant sophistiqués qui ont des résistances de sortie plus élevées que le miroir de base (se rapprochant davantage d'un miroir idéal dont le courant de sortie est indépendant de la tension de sortie) et qui produisent des courants moins sensibles aux variations de température et des paramètres du dispositif ainsi qu'aux fluctuations de tension du circuit. Ces circuits miroir multi-transistors sont utilisés aussi bien avec des transistors bipolaires que MOS. Ces circuits comprennent :[32]

- La source de courant de Widlar
- Le miroir de courant de Wilson utilisé comme source de courant
- Les sources de courant en cascade

2.13 Conclusion :

Les signaux sont la meilleure façon de bien étudier les comportements des phénomènes, il est possible de les générer en plusieurs manières à l'aide des dispositifs comme l'amplificateur qui a son tour contribue à réaliser des bascules comme celle de schmitt qui joue le rôle d'un comparateur de signaux avec une période d'hystérésis.

Chapitre 3

*Commande analogique
d'une LED*

Chapitre 3: Commande analogique d'une LED

3.1 Introduction:

Dans ce chapitre, nous allons étudier la partie Hardware du projet en présentant les diverses possibilités de commande analogique de LED et structure générale des maquettes et les différents composants électroniques utilisées pour la réalisation pratique du module de variateur analogique de LED, ainsi que leurs schémas électroniques d'une manière générale.

Afin de mener à bien ce projet, il est nécessaire de procéder à une étude électronique avec l'utilisation du logiciel afin de réaliser une série d'étapes pour garantir le bon développement optimal et pouvoir réaliser le fonctionnement du système voulu.

3.2 L'idée de ce projet :

Lors du réglage de la luminosité d'une LED, ou d'une lampe à incandescence, on observe un phénomène remarquable. Lorsque le courant augmente linéairement et peu importe que le dispositif soit analogique ou numérique, on constate que la luminosité ne varie pas linéairement, Au début, elle semble augmenter rapidement, puis de plus en plus lentement au fur et à mesure que le courant continue à grimper. On pourrait l'exprimer autrement : pour accroître la luminosité d'une LED déjà bien brillante, il faut augmenter le courant bien plus que pour une LED dont la luminosité est faible.

3.3 Et Pourquoi cette sensation ?

C'est ce qu'ont étudié Weber et Fechner qui dit que Les sens humains ne sont pas des capteurs *linéaires*, mais ils auraient plutôt une fonctionnalité logarithmique. Ce n'est pas plus mal, car cela étend leur gamme de perception. L'œil peut par exemple observer des magnitudes apparentes très différentes, de la pâle lumière d'une lointaine étoile par une nuit sans lune à celle, éclatante, du soleil sur une plage en plein été. Il est clair que cette caractéristique logarithmique – par approximation – des yeux a des conséquences sur la manière dont on fait varier la luminosité d'une LED (ce n'est pas le cas des lampes à incandescence, qui sont désormais « hors-jeu »). Si on veut percevoir une variation linéaire de la luminosité, **le courant d'alimentation de la LED devra varier exponentiellement.**

La **figure 3.1** montre la variation apparente de la luminosité d'une LED lorsque le courant augmente et diminue linéairement.

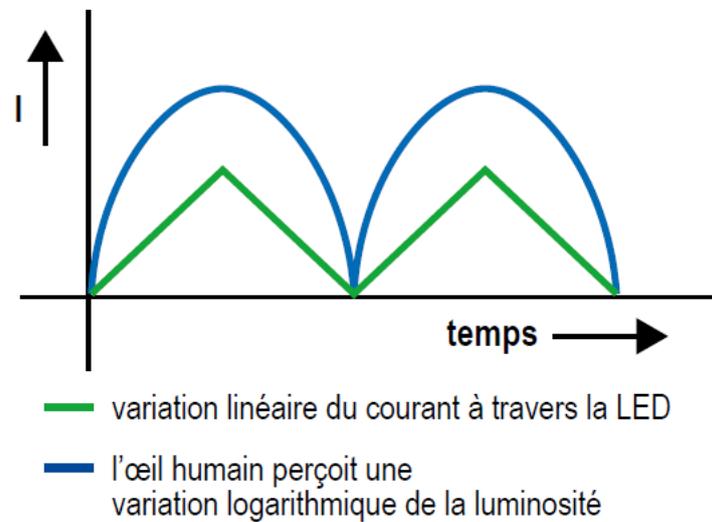


Figure 3.1 : La variation linéaire du courant à travers la LED en fonction de temps.

Lorsque le courant à travers la LED varie linéairement, la luminosité se varie de façon logarithmique.

La **figure 3.2** montre la variation apparente de la luminosité d'une LED lorsque le courant augmente et diminue exponentiellement.

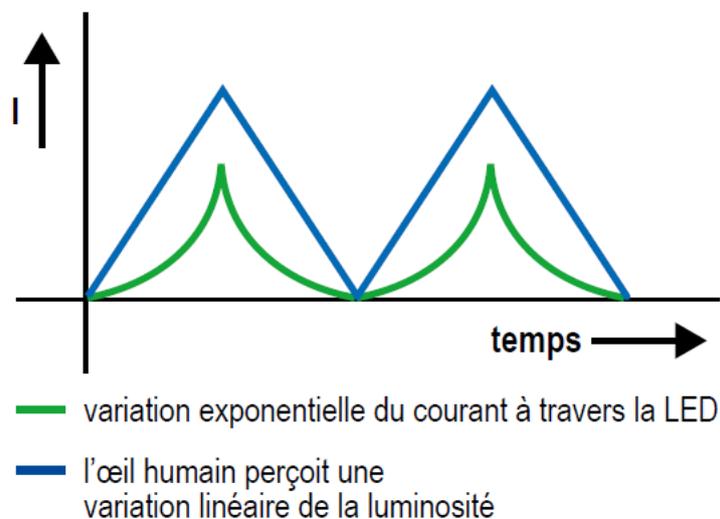


Figure 3.2 : La variation exponentielle du courant à travers la LED en fonction de temps.

Ici c'est l'inverse : si le courant varie exponentiellement, la luminosité se varie linéairement.

Donc Pour régler la luminosité d'une LED, on a besoin d'un circuit qui, d'une manière ou d'une autre, fait varier l'intensité du courant de telle sorte que nous percevions une fluctuation linéaire de cette luminosité, comme il est montré dans **la figure 3.2**.

3.4Principe du montage:

Le schéma fonctionnel est repris en **figure 3.3**. Un générateur de signal d'onde en dents de scie ou triangulaire, dont la fréquence et la symétrie sont réglables, constitue la base du montage. Un Variateur traditionnel est commandé manuellement à l'aide d'un potentiomètre, Le signal en dents de scie linéaire est ensuite transformé en signal approximativement exponentiel par *un amplificateur exponentiel (anti-logarithmique)*, ou par un circuit *quadratique*, qui donne aussi une bonne approximation.

Enfin la tension qui augmente ou diminue de manière exponentielle est convertie en courant pour commander la LED.

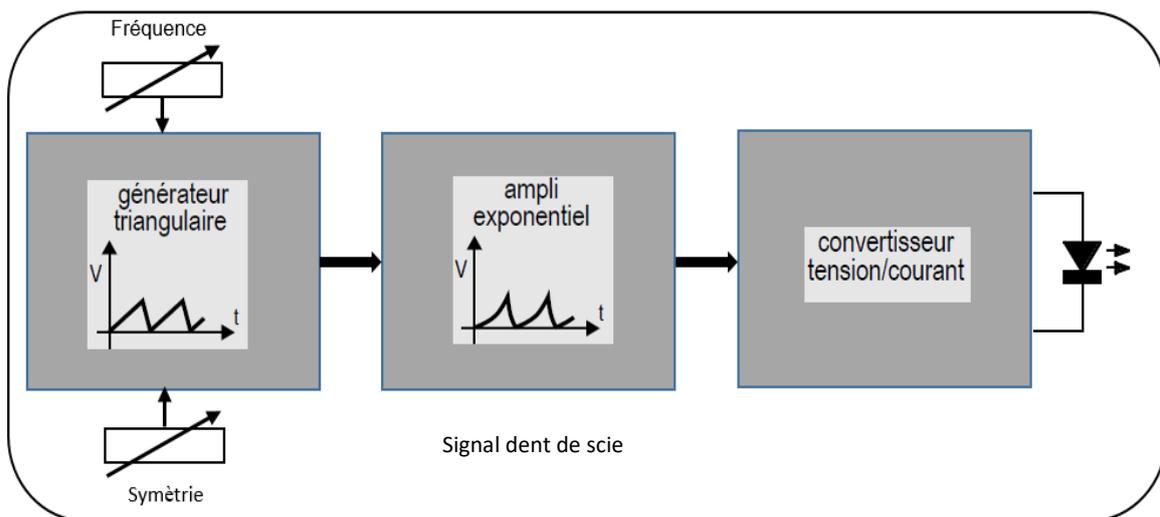


Figure 3.3 : Le schéma fonctionnel général des variateurs analogiques

La **figure 3.3** montre la mise en œuvre des deux méthodes pour l'obtention de la caractéristique de variation souhaitée.

- On utilise pour tous les montages des composants électroniques standard facile à trouver dans le marché algérien.

Les composants :

- Résistances,
- Capacité,
- Diodes 1N4148,
- Potentiomètres,
- Amplificateurs opérationnels LM358 et LM324,
- Transistors NPN BC548 et transistors PNP BC558,
- Photorésistance (LDR),
- Diode électroluminescente (LED).

2.5 Le rôle principal des composants choisis :

✚ Les potentiomètres sont utilisés pour le réglage de :

- 1- La fréquence (c'est-à-dire le rythme d'augmentation et de diminution de la luminosité de la LED).
- 2- La symétrie du signal (comme il est montrée dans le schéma synoptique au-dessus).

✚ Il est possible de construire un générateur de signal en dents de scie avec deux amplis-op: un intégrateur et une bascule de Schmitt (LM358 et LM324).

✚ L'amplificateur exponentiel transforme le signal *linéaire* en signal *exponentiel*. Pour l'amplificateur exponentiel, on utilise la caractéristique logarithmique d'une (LDR).

✚ La conversion tension-courant peut se faire tout simplement à l'aide d'une résistance en série avec la LED, ou avec un miroir de courant ou une source de courant commandée en tension.

3.6 Variateur Alternatif :

La **figure 3.4** montre la mise en œuvre de la méthode pour l'obtention de la caractéristique de variation souhaitée.

Remarque : Le travail et la simulation est faite par le logiciel *poteus*.

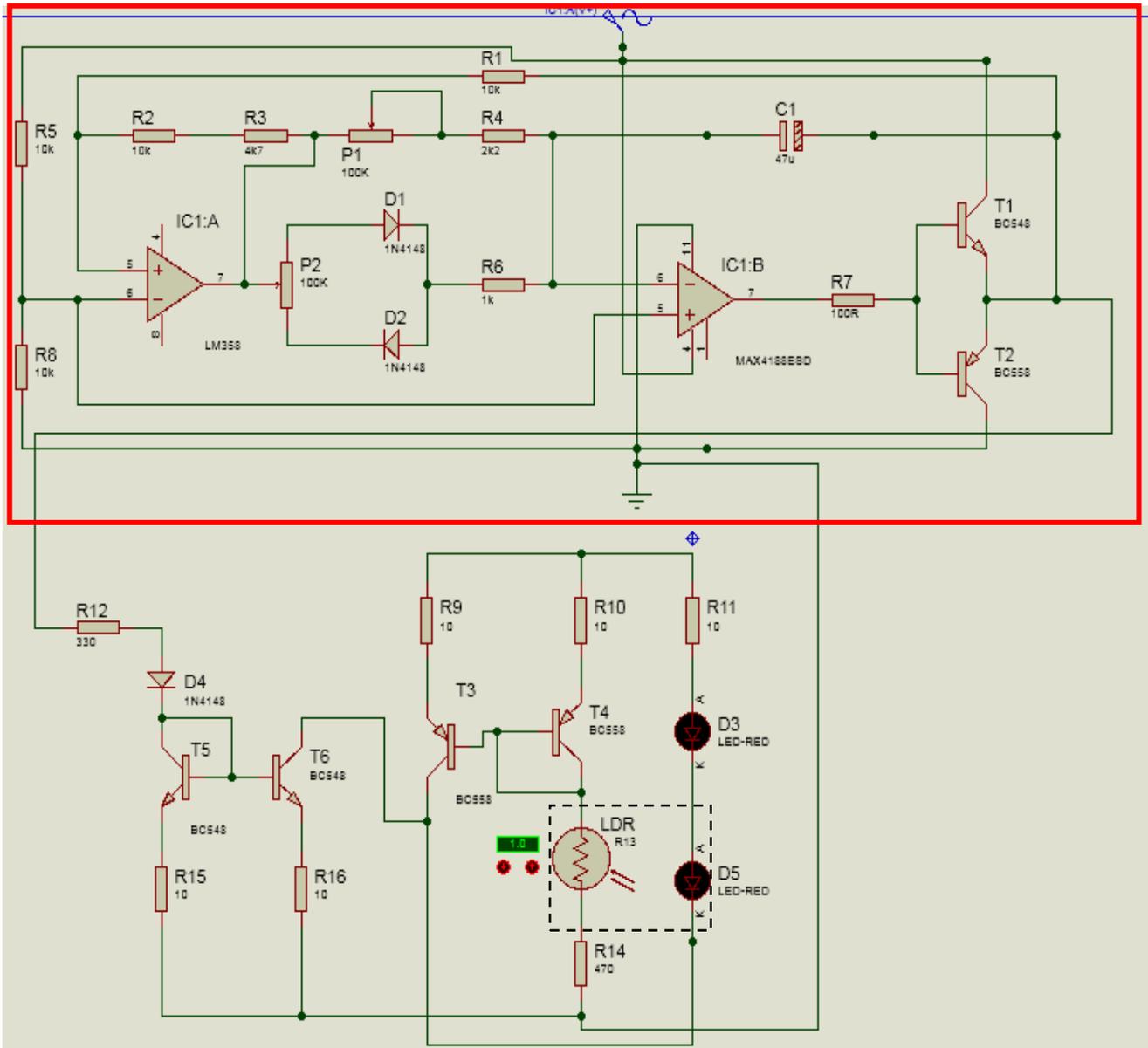


Figure 3.4 : Schéma de circuit du variateur alternatif (cadran rouge)

3.6.1 Fonctionnement :

Le générateur de signal en dents de scie ou triangulaire est bâti autour des deux amplis-op **IC1.A**(LM324) et **IC1.B** (LM358). Le premier est configuré en bascule de Schmitt, le second agit en tant qu'intégrateur. Comme les amplis-op sont alimentés par une seule source (9 à 12 V), une référence de tension est nécessaire ; celle-ci est obtenue avec le diviseur résistif **R5/R8**, elle est égale à la moitié de la tension d'alimentation.

La constante de temps τ est déterminée par la combinaison de **P1** et **R4**, et par **C1** qui a une valeur assez élevée c'est pour ça on a utilisé **T1** et **T2** à la suite d'**IC1.B** pour que le courant de charge soit suffisant.

P1 fait réglé la fréquence entre 0,3 et 3,8 HZ et **P2** ajuste la symétrie du triangle et **R6** détermine les temps de montée et de descente minimaux du signal triangulaire.

Rebouclage de sortie de l'intégrateur via **R1** vers l'entrée non inverseuse de la bascule de Schmitt (**IC1.A**). La sortie de la bascule est également ramenée sur son entrée non inverseuse à travers **R2** et **R3**.

Lorsque la sortie de la bascule de Schmitt est à l'état haut, la tension de sortie de l'intégrateur (monté en inverseur) diminue, et donc celle sur l'entrée non-inverseuse d'**IC1.A** aussi.

Et dès que cette tension est inférieure à la tension de référence fixée par **R5** et **R8**, la sortie de la bascule passe à l'état bas et l'entrée non-inverseuse suit via **R2** et **R3**, et puisque la sortie de la bascule maintenant est à l'état bas, La tension de sortie de l'intégrateur se met alors à grimper.

La tension appliquée sur l'entrée non-inverseuse de la bascule via **R1** augmente à nouveau, jusqu'à atteindre la valeur de la tension de référence. La sortie de la bascule repasse à l'état haut et le cycle recommence.

L'amplitude du signal à la sortie du suiveur de tension est d'environ 6,5 V : le signal varie entre 3 et 9,5 V.

☞ Le signal de sortie (point A sur le schéma) est dirigé vers l'entrée de *l'amplificateur exponentiel* ou celle du *circuit quadratique*.

3.7 Amplificateur exponentiel:

Ce cas est basé sur les caractéristiques logarithmique de la photorésistance (LDR) comme il est montré dans **la figure 3.5** suivante :

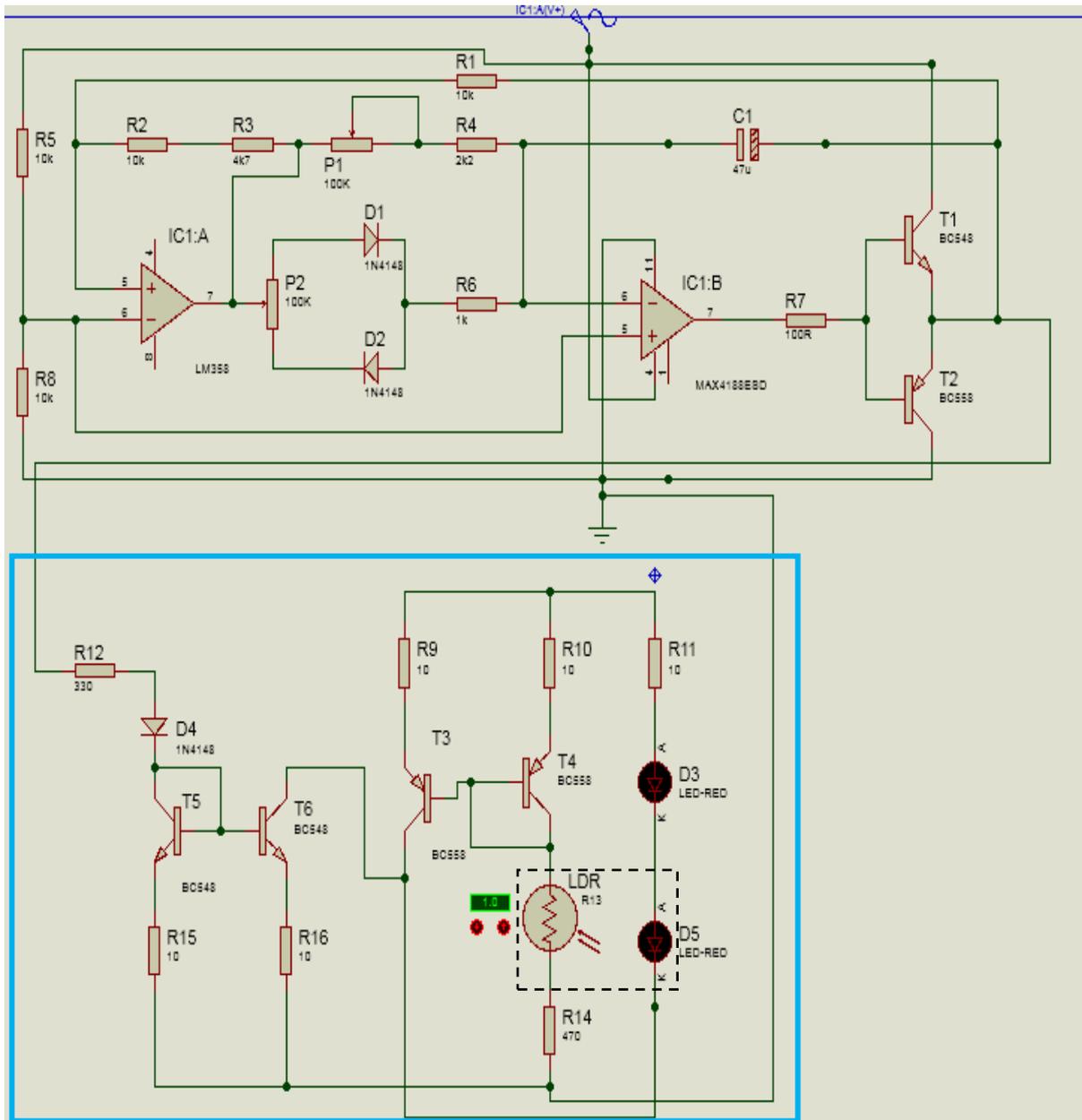


Figure 3.5 : Schéma de circuit de l'amplificateur exponentiel (cadran bleu)

3.7.1 Fonctionnement :

Il s'agit du circuit bâti autour des transistor **T3** à **T6**, pour la transformation du signal linéaire en un signal exponentiel avec une très bonne approximation. La variation de la valeur de la LDR **R13** est entraînée par la lumière émise de la LED2, ce qui permet d'exploiter sa caractéristique logarithmique.

La LED1, LED2 sont identiques avec les mêmes caractéristiques (type et couleur) et en série, et puisque les deux LED sont en série et traversé par le même courant, on peut estimer que leur luminosité est la même. La LDR R13 et la LED2 sont encapsulée dans une gaine thermorétractable qui est un tube en plastique souple qui se resserre quand il est exposé à une température assez élevée [1], le but de l'utilisation de cette gaine c'est pour éviter l'influence de la LDR par la lumière ambiante.

Puisque on ne va pas faire le réglage sur la tension au borne des LEDs, on va jouer sur la tension qui les travers, donc l'utilisation de miroirs de courant (T3/T4 et T5/T6) est le choix abordable dans ce montage. Il suffit de savoir que le courant de collecteur d'un des deux transistors suit fidèlement le courant de collecteur de l'autre. Les deux transistors d'un même miroir doivent idéalement avoir des caractéristiques identiques et être couplés thermiquement.

La valeur du courant de collecteur de T5 est la même de T6, est déterminée par le signal triangulaire à l'entrée du circuit.

Le rôle unique de la diode D3 est de réduire le niveau du signal d'environ 0,7V, par conséquent le courant devient suffisamment réduit pour éteindre complètement les LEDs.

Le courant de collecteur de T3 et T4 est déterminé par le courant à travers R13 et R14. Lorsque la luminosité des LED varie linéairement, le courant varie de manière logarithmique, à cause de la caractéristique de la LDR.

Le travail avec des courants a un autre avantage car : ils s'additionnent ou se soustraient à un nœud (La première loi de Kirchhoff) Nous pouvons réaliser cette opération avec les courants de collecteur de T3 (I_2) et T6 (I_1) et le courant à travers les LED (I_3): $I_3 = I_1 - I_2$.

Les courbes de courant sont représentées dans les **figures**, celle du courant à travers les LED est bien exponentielle.



Figure 3.6 : signal du courant I_1

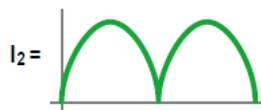


Figure 3.7 : signal du courant I_2

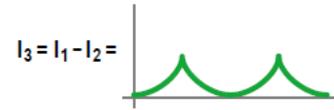


Figure 3.8 : signal du courant I_3

La figure 3.9 suivante montre le schéma complet du montage du variateur exponentiel :

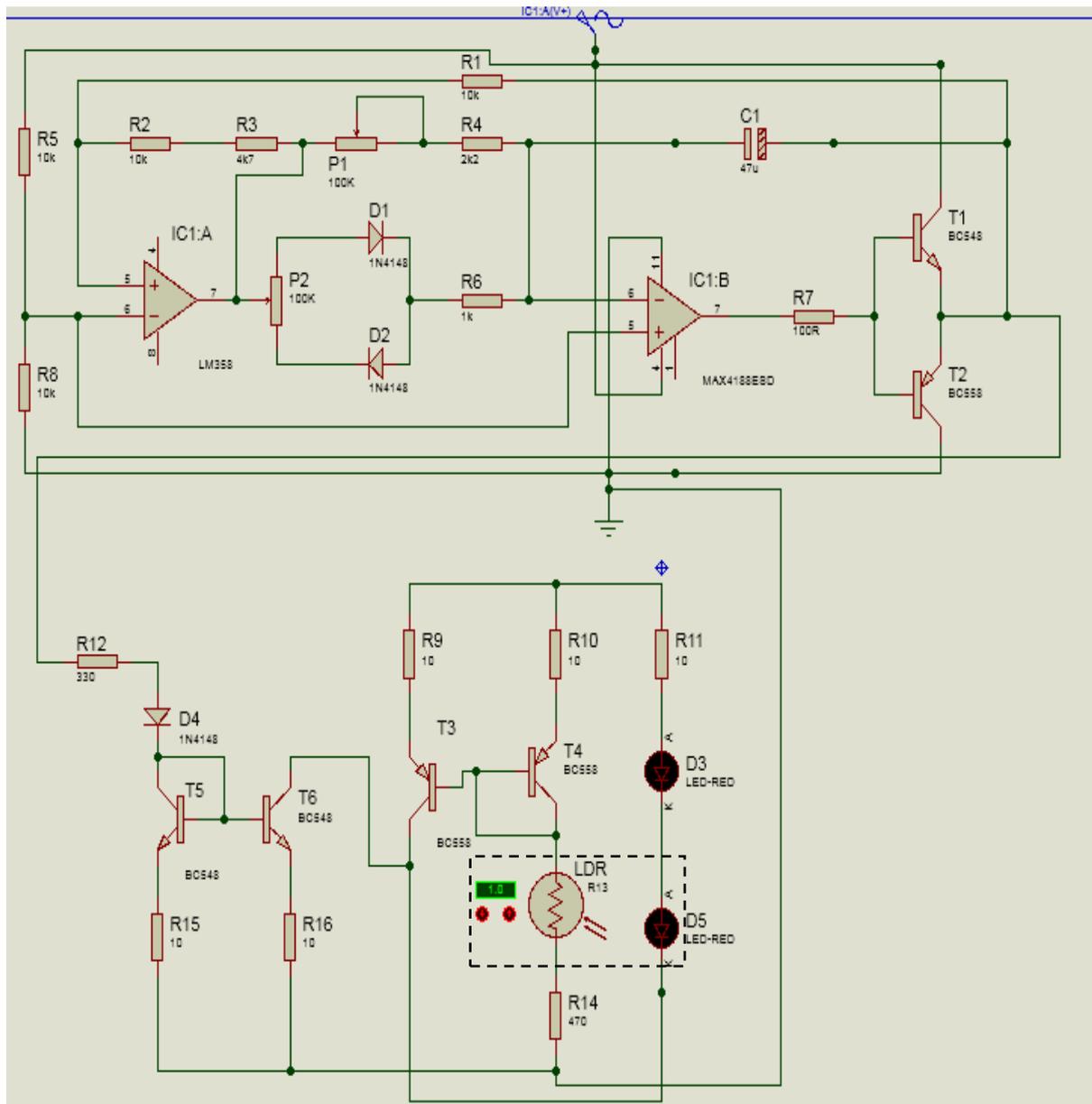


Figure 3.9 : Schéma du circuit du variateur exponentiel

L'annexe 7 présente le typon de la photographie du circuit réalisé correspondant

3.8 Circuit quadratique:

Dans ce cas, on va brancher le circuit du variateur avec le circuit quadratique montré dans la figure 3.10 :

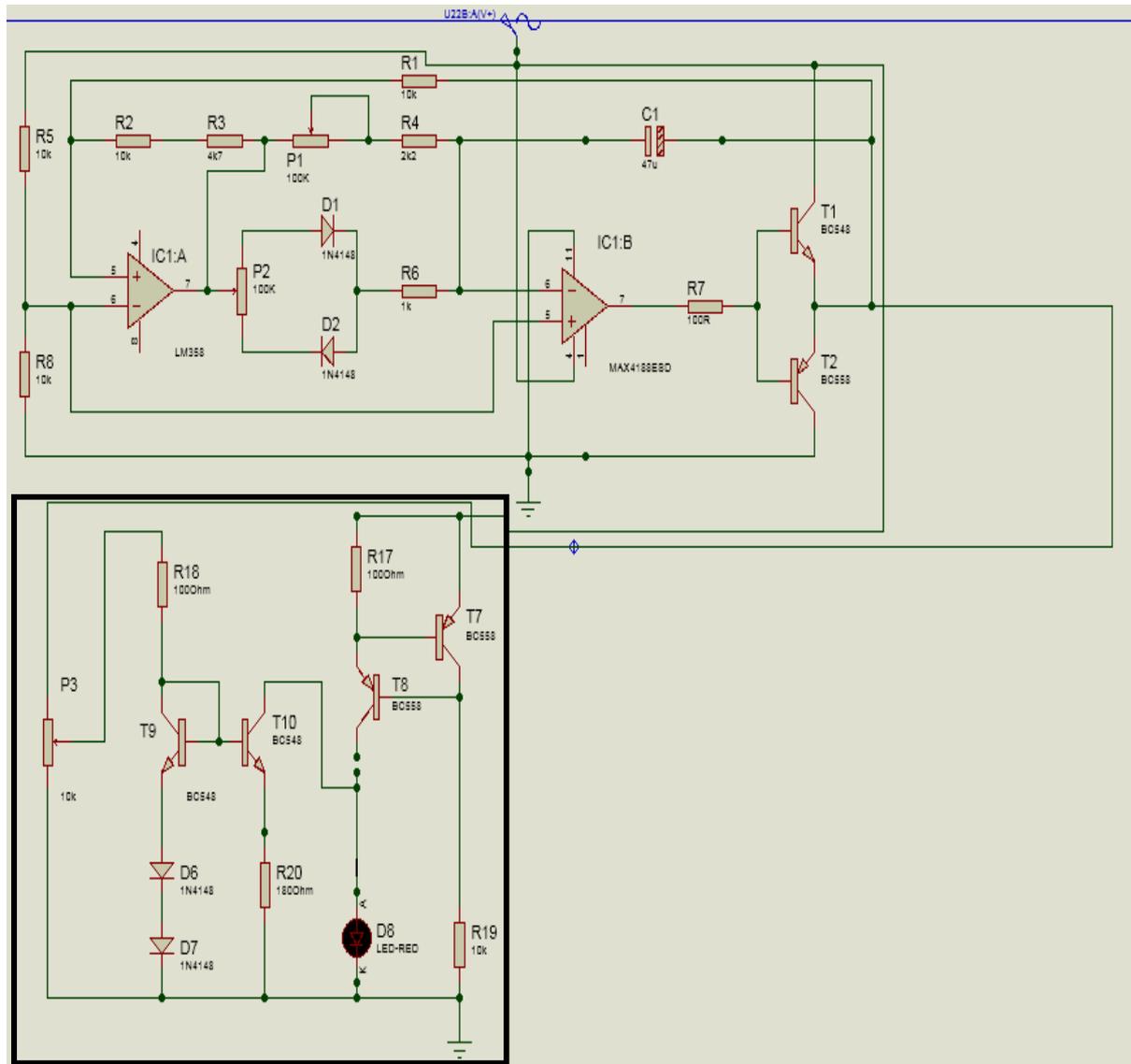


Figure 3.10 : Schéma du circuit quadratique (cadran noir)

L'annexe 7 présente le typon de la photographie du circuit réalisé correspondant

Le tableau 3.1 suivant montre la variation l'intensité de courant par rapport à la variation de résistance du potentiomètre P3

R(Ω)	10k	8k	6k	4k	2k	1k	100
I(A)	2,13	1,97	1,78	1,23	0,86	0,51	0,07

3.8.1 Fonctionnement :

La LED3 est alimentée par le pair de transistors T7 et T8 qui forment une source de courant qui a une intensité maximale d'environ 7mA ce qui détermine la luminosité maximale de la LED3.

Les transistors T9 et T10 forme un miroir de courant. Le courant de collecteur de T10 ne suivra plus linéairement celui de T9 mais bien avec une caractéristique quadratique, à cause de D6 et D7 qui sont insérées en série avec le collecteur de T9 au lieu d'une résistance comme le cas du collecteur de T10 qui est installé en série avec R20.

Le potentiomètre P3 combiné à R18, permet d'ajuster le courant de collecteur de T9 pour une extinction complète de LED3 au moment convenable.

La formule de calcul du courant à travers LED3 est identique à celle du montage précédent :

$$I_3 = I_1 - I_2.$$

Les courbes des schémas montré dans **les figures** suivantes indiquent que les courants à travers LED1 et LED3 sont bien déphasés de 180°.



Figure 3.11 : signal du courant I_1

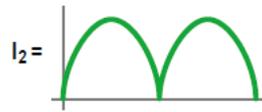


Figure 3.12 : signal du courant I_2



Figure 3.13 : signal du courant I_3

3.9 La variation de luminosité avec des FET

Maintenant on va expérimenter la variation de luminosité avec des FET :

3.9.1 Le MOSFET :

Le transistor MOSFET (Metal Oxyde Semiconductor Field Effect Transistor) enrichi à grille isolée est utilisé en électronique de puissance pour alimenter des charges en commutation. Parmi ces caractéristiques c'est la tension appliquée entre la grille et la source, V_{GS} , permet de contrôler le courant circulant entre le drain et la source, I_D . [36] i.e source de courant commandée par une tension.

Remarque : le MOSFET utilisé est le BS170.



Figure 3.14 : Le MOSFET BS170 [37]

3.9.2 Symbole du MOSFET :

En général, le MOSFET est un dispositif à quatre bornes avec un drain (D), une source (S), une grille (G) et un corps (B) / des bornes de substrat. La borne du corps est toujours connectée à la borne de la source, le MOSFET fonctionne donc comme un dispositif à trois bornes. Dans la **figure** ci-dessous, le symbole du MOSFET à canal N est montré à gauche et le symbole du MOSFET à canal P est montré à droite. [38]

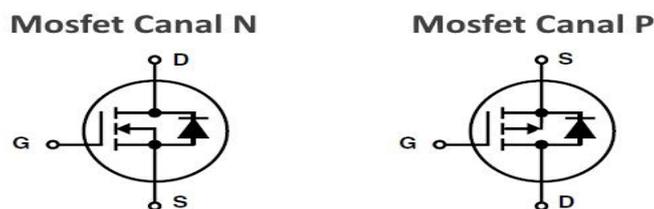


Figure 3.15 : Symboles des deux types de MOSFET [39]

Dans le montage montré dans **figure 3.16** , la caractéristique du courant de drain I_D en fonction de la tension grille-source V_{GS} en régime de saturation est quadratique.

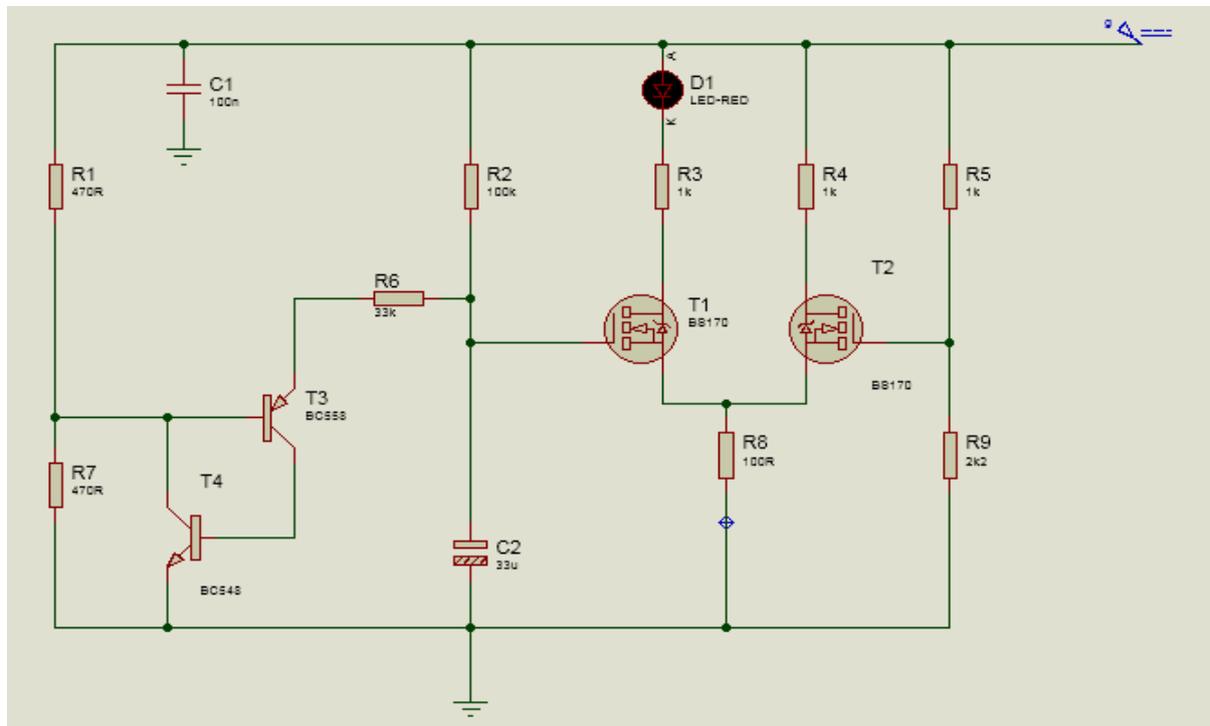


Figure 3.16 : Schéma du variateur à PUT et MOSFET

Le tableau 3.2 suivant montre la variation l'intensité de courant par rapport à la variation de résistance R3

R(Ω)	1000	800	600	400	200	100
I(A)	1,08	1,25	1.53	1,93	2,61	3,17

3.9.3 Fonctionnement à PUT et MOSFET :

On toujours besoin d'un générateur du signal triangulaire qui a été conçu par un transistor unijonction programmable (PUT) qui est un composant à trois broches (anode, cathode et Gâchette). On a préféré le substituer avec un circuit équivalent à deux transistors bipolaires courants, un PNP (T3) et un NPN(T4).

Un diviseur de tension formé par les résistances R1 et R2 fixe la tension de déclenchement du PUT à la moitié de la tension d'alimentation.

Lors de la mise sous tension, le condensateur C2 se charge lentement via la résistance R2. Dès que la tension à ses bornes atteint la tension de déclenchement du PUT plus 0,7V(tension

base-émetteur V_{BE} de T3), ce dernier commence à conduire et fournit un courant de base à T4, qui conduit à son tour.

La tension sur la base de T3 va baisser et rendre le transistor encore plus conducteur et augmenter le courant de base de T4. Les deux transistors renforcent mutuellement leur état passant et leur courant de collecteur augmente jusqu'à saturation.

Dès qu'il y a conduction, C2 se décharge via R6 et le PUT.

Lorsque la tension baisse en deçà du seuil de conduction de T3, les deux transistors du PUT se bloquent. Le condensateur C2 commence alors à se recharger via R2 et le cycle recommence.

La tension aux bornes de C2 est un signal plus ou moins triangulaire, puisque les charges et décharges du condensateur ne sont pas linéaires. Avec les valeurs choisies pour les composants, la période de ce signal est d'environ 3 s : 1,5 s de montée et une durée identique de descente. L'amplitude est approximativement de 0,9 V, le signal oscillant entre 2 et 2,9 V. Les MOSFET T1 et T2 constituent un amplificateur différentiel, dont une des entrées est attaquée par le signal aux bornes de C2 et l'autre se trouve à un potentiel fixe correspondant à la tension de seuil V_{TH} du BS170.

Cette tension est d'environ 2,7 V et est obtenue via le diviseur de tension R5/R9. Dès que le transistor se trouve dans la zone saturée, la relation entre le courant de drain I_D et la tension grille-source V_{GS} est quadratique.

L'amplificateur différentiel amplifie la différence entre le signal triangulaire aux bornes de C2 et la tension de seuil : la tension triangulaire oscille autour de la tension de seuil. Le courant à travers la LED varie suivant une caractéristique quadratique, *ce qui donne à l'œil l'impression d'une variation linéaire de la luminosité.*

La modification la valeur de R2 permet de changer la fréquence du cycle de charge et décharge de C2.

La **Figure 3.17** suivante montre le montage du variateur à MOSFET en 3D :

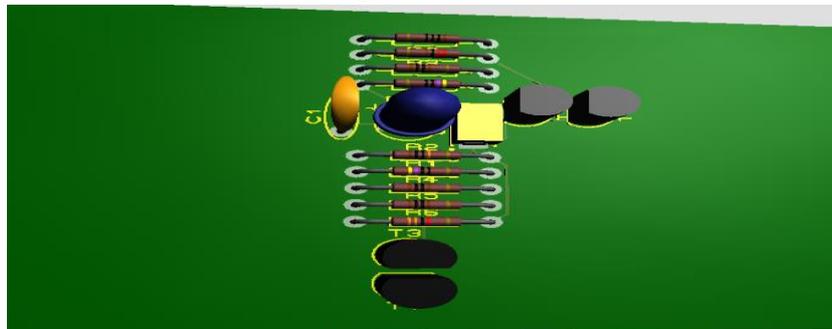


Figure 3.17 : montage du variateur à MOSFET en 3D

Autre façon pour varier la luminosité de la LED, c'est par usage d'un **Gyrateur**, comme il est montré dans le schéma de circuit ci-dessous dans la **figure 3.18** :

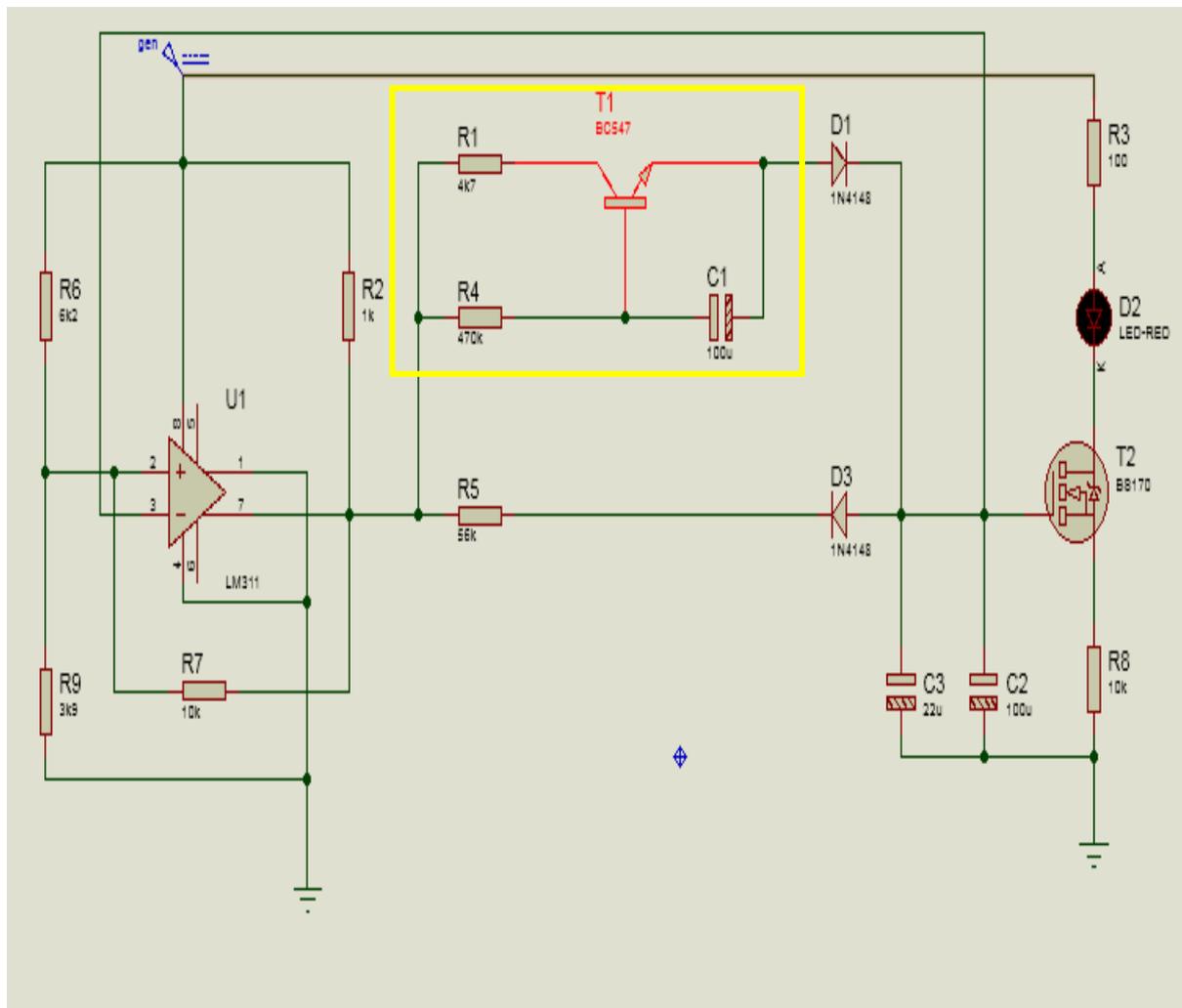


Figure 3.18 : Le schéma d'un variateur avec un gyrateur modifié.

Le tableau 3.3 suivant montre la variation l'intensité de courant par rapport à la variation de résistance R8

R(Ω)	10k	8k	6k	4K	2K	1K	100
I(A)	0,21	0,28	0,35	0,50	0,91	1,54	3,83

3.10 Le gyrateur :

La **figure 3.19** montre le gyrateur seul (en cadran **jaune** dans la figure 3.18 si dessus) :

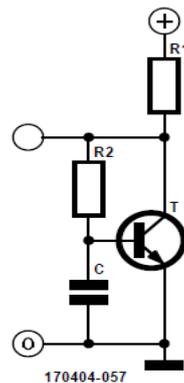


Figure 3.6 : Schéma du circuit d'un gyrateur seul

3.10.1 Comment ça fonctionne :

On va décrire le fonctionnement du gyrateur de manière qualitative dans le domaine fréquentiel, à basses et hautes fréquences.

A) Basse fréquence :

Si le signal appliqué sur l'entrée est à très basse fréquence ou continu, l'impédance du condensateur **C** sera très élevée. Comme la base du transistor est alimentée via **R2**, celui-ci sera conducteur.

Vu de l'entrée, le dispositif peut être considéré en première approximation comme un court-circuit, ce qui serait aussi le cas d'une bobine.

B) Haute fréquence :

Avec un signal à haute fréquence à l'entrée, l'impédance du condensateur est faible et il « vole » littéralement le courant de base du transistor. Celui-ci conduit moins et le circuit présente une impédance élevée ; encore une fois le comportement d'une bobine.

La résistance **R1**, en série avec le collecteur de **T1** (**voir figure 3.18**), cause une diminution de la tension sur le collecteur du transistor lorsque le courant I_c (et I_e) augmente. La charge des condensateurs $C2//C3$ sera alors approximativement exponentielle.

Le reste du circuit est classique ; le MOSFET T2 est un convertisseur tension courant qui permet d'alimenter la LED (maximum de 5 mA avec la valeur de R8 choisie), et la résistance R3 impose une limitation supplémentaire du courant. Avec les valeurs sélectionnées pour les composants, les temps de montée et de descente sont d'environ 1,2 s.

L'augmentation et la diminution de la luminosité de la LED seront relativement symétriques. Les résistances R6 et R9 peuvent être remplacées par un potentiomètre de 10 k Ω , dont le curseur est connecté à R7 et à l'entrée non-inverseuse du comparateur. Ceci permet de régler la luminosité minimale de la LED.

Il est conseillé de choisir un type de LED à haute efficacité lumineuse, qui permettra un meilleur éclairage avec les faibles courants en jeu.

3.10.2 L'inconvénient de ce circuit :

Le circuit a un sérieux inconvénient les temps de montée et de descente ne peuvent pas être modifiés facilement.

Il faut en effet changer simultanément les valeurs du couple C2-C3, de C1, et éventuellement de R5.

3.10.3 Fonctionnement du variateur avec un gyrateur modifié :

La variante décrite ici utilise un oscillateur à relaxation bâti autour d'un comparateur configuré en bascule de Schmitt.

Le comparateur **LM311** est au cœur du circuit. Une fraction de sa tension de sortie est ramenée sur l'entrée non-inverseuse via la résistance R7, ce qui crée une hysteresis de part et d'autre du seuil de déclenchement fixé par le diviseur de tension R6/R9 ; ça donne aussi une bascule de Schmitt.

Remarque :

L'amplitude de la tension de sortie dépend de la valeur de R7.

La constante de temps de l'oscillateur est déterminée par la capacité de C2 et C3. Les diodes D1 et D3 garantissent que les temps de charge et décharge sont indépendants l'un de l'autre.

La décharge des condensateurs se fait à travers R5, elle est à peu près **exponentielle**,

On veut aussi que la charge des condensateurs soit exponentielle. On a donc besoin d'un circuit qui fournisse un courant de charge exponentiel à partir d'une tension constante.

Pour que la variation du courant sera logarithmique lors de l'application d'une tension constante, on a besoin d'une bobine montée en série avec une résistance.

La bobine peut être remplacée par un **Gyrateur** qui est un circuit électronique qui simule le fonctionnement d'une bobine. L'avantage du gyrateur c'est qu'il est facile à modifier pour que la tension soit présente à une caractéristique exponentielle.

Le transistor T1, les résistances R1 et R4, et le condensateur C1 simulent le fonctionnement d'une bobine en réalisant un gyrateur.

Avec un signal à haute fréquence à l'entrée, l'impédance du condensateur est faible et « vole » littéralement le courant de base du transistor. Celui-ci conduit moins et le circuit présente une impédance élevée ; encore une fois le comportement d'une bobine. La résistance R1, en série avec le collecteur de T1 (voir figure 3.19), cause une diminution de la tension sur le collecteur du transistor lorsque le courant I_c (et I_e) augmente. La charge des condensateurs C2//C3 sera alors approximativement exponentielle. Le reste du circuit est classique ; le MOSFET T2 est un convertisseur tension courant qui permet d'alimenter la LED (maximum de 5 mA avec la valeur de R8 choisie), et la résistance R3 impose une limitation supplémentaire du courant. Avec les valeurs sélectionnées pour les composants, les temps de montée et de descente sont d'environ 1,2 s. L'augmentation et la diminution de la luminosité de la LED seront relativement symétriques.

La Figure 3.20 suivante montre le montage du variateur à gyrateur en 3D :

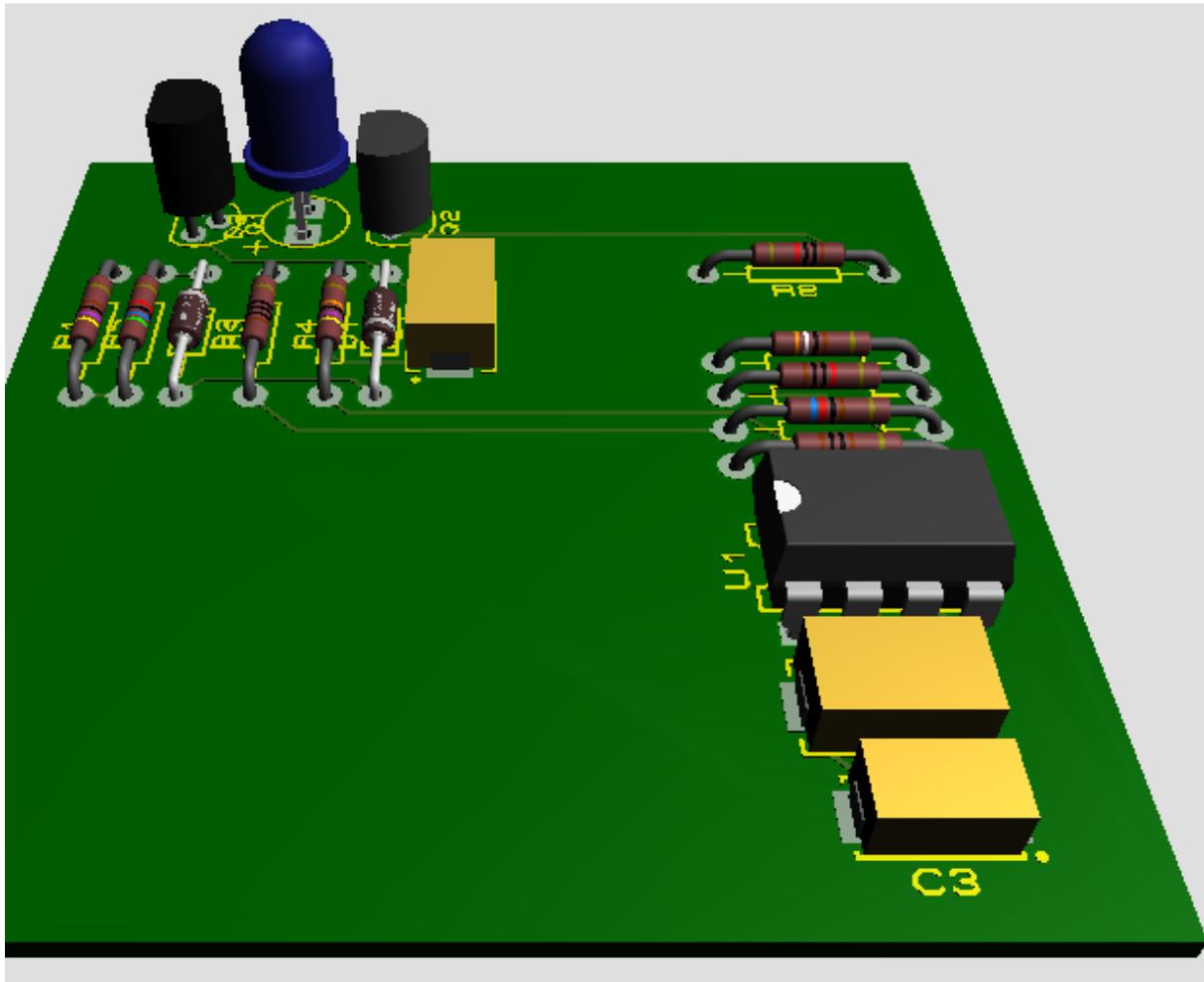


Figure 3.20 : Montage du variateur à gyrateur en 3D

3.11 Conclusion :

Dans cette partie on est arrivé à élaborer des circuits à base de LDR, MOSFET et Gyrateur qui permettent d'assurer le fonctionnement des fonctions électroniques étudiées pour la commande analogique de la variation de la luminosité de la LED de façon très efficace dans tous les montages réalisés et simulés dans PROTEUS ISIS.

CONCLUSION GENERALE

Dans ce travail, nous avons atteint notre objectif avec les simulations et en concevant une carte électronique basée sur les fonctions électriques pour varier la luminosité de la LED de façon linéaire en variant le courant de manière exponentiel, ces montages sont destinés au domaine de l'optique spécifiquement les nouvelles générations de l'éclairage moderne qui utilisent des LEDs et non plus des lampes à incandescences.

Ces différentes techniques de la commande analogique de la variation de la luminosité de la LED sont destinées aux constructeurs des dispositifs électriques et les individus amateurs de la technologie de l'optoélectronique car tous les montages partagent quelque chose en commun qui est la simplicité de leurs composants et le moindre coût, il suffit juste de bien maîtriser les fonctions électriques.

Au cours de ce projet nous avons appris de bien comment de maîtriser le logiciel Proteus ISIS, de gérer les problèmes avec compétence et le plus important de faire la liaison entre tout ce que nous avons vu et appris à l'université pendant ces 5 années en partant de la définition d'une résistance jusqu'à la construction complexe des circuits.

En perspective, nous espérons que ce travail trouvera un suivi par les promotions futures, en améliorant les performances de nos circuits, en se basant sur les points suivants :

- ☞ Avoir de résultats plus précis
- ☞ Mesurer l'intensité de lumière avec un luxmètre et tracer la courbe de l'éclairage l'aide des valeurs obtenus
- ☞ ET de réaliser ces montages avec des hautes tensions et de les rendre possible de fonctionner avec des lampes à LED.

Bibliographie

- [1]<https://blog.ttelectronics.com/optoelectronics>
- [2] Zenno TOFFANO << Optoélectronique composants photoniques et fibres optiques >>Ellipses, 2001.
- [3]<https://www.qualitymag.com/articles/90749-photonics-electro-optics-or-optoelectronics>
- [4] <http://lense.institutoptique.fr/mine/caracteristiques-dune-led/>
- [5]<https://www.photonics.com/EDU/Dictionary.aspx#:~:text=opposite%20the%20viewer.-,photonics,quantum%20unit%20is%20the%20photon.>
- [6]<https://electricalfundablog.com/optoelectronics-devices-applications/>
- [7]<https://www.positron-libre.com/cours/electronique/diode/led/led.php>
- [8]<https://fac.umc.edu.dz/fstech/Electronique/2.pdf>
- [9]<https://electrovo.com/photodiode/>
- [10]<https://www.first-sensor.com/fr/produits/capteurs-optiques/detecteurs/photodiodes-pin/>
- [11]<https://illustrationprize.com/fr/298-photodiode.html#:~:text=Principe%20de%20la%20photodiode&text=Le%20principe%20de%20fonctionnement%20de,inverse%20d%C3%A9termin%C3%A9%20lui%20est%20appliqu%C3%A9.>
- [12]https://www.electronicshub.org/light-sensors/?fbclid=IwAR3NttfOaGz2WFk07p5mcWDRC6ZWC2nTYhH7fxHxb40mu6EtcZHutVA4Wg#Light_Dependent_Resistor_LDR
- [13]https://www.electronics-notes.com/articles/electronic_components/transistor/what-is-a-phototransistor-tutorial.php
- [14]https://www.memoireonline.com/10/08/1600/m_mise-en-oeuvre-partie-perception-d-un-robot6.html
- [15]<https://www.framboise314.fr/scratch-raspberry-pi-composants/module-detecteur-de-lumiere-a-ldr/>

Bibliographie

[16]<https://www.utmel.com/blog/categories/resistor/photoresistor-basics-types-principles-and-applications#3>

[17]https://fr.wikipedia.org/wiki/Loi_de_Weber-Fechner#:~:text=En%20psychophysique%2C%20la%20loi%20de,pression%20dans%20l'air%20correspondante

[18] http://www.numdam.org/article/CAD_1979__4_4_391_0.pdf

[19] Stéphane VALKOV, <<Les principales fonctions électroniques: Étude, réalisations et applications pratiques>>, 2019, page 88

[20]https://www.researchgate.net/publication/292994001_Cours_Theorie_du_signal_Generales_sur_les_signaux

[21] Murat Knut , << Traitement numérique des signaux >>, Lausanne, Suisse : Presses polytechniques romandes, 1984 , page 1

[22] L. Dorval <<Techniques des impulsions>> , Edition : Mc Graw Hill

[23] Jiri Dostal, <<Operational Amplifiers>>, Saint Louis : Elsevier Science, 2014.

[24] Vincent Renvoize; << Physique MP-MP*-PT-PT* : cours complet avec tests, exercices et problèmes corrigés >> , Paris : Pearson, cop. 2010

[25]http://www.elektronique.fr/cours/AOP/aop-montages-de-base.php#aop_1-01

[26] Mohand Ouhrouche, <<Circuits électriques : méthodes d'analyse et applications >>, [Montréal] : Presses internationales Polytechnique, ©2008

[27]<https://www.hebergementwebs.com/applications-de-circuits-integres-lineaires/amplificateurs-log-et-anti-log>

[28]<https://fr.lambdageeks.com/rich-discussion-logarithm-antilogarithm-amplifier/>

[29] Brahim Haraoubia <<Électronique non linéaire. 1, dipôles non linéaires, oscillateurs harmoniques et circuits en commutation>>, Londres : ISTE editions, 2018.

[30] HANFOUG Salah, << Contribution à la Conception des circuits Mode de courant en Technologie CMOS >>, Thèse Présentée pour l'obtention du diplôme de DOCTORAT en science en Électronique, Université Hadj Lakhdar Batna, 2016.

Bibliographie

[31] R. Bourgeron <<Guide Pratique de l'électronique>>, Paris, Hachette, coll. « Hachette technique », 1998

[32] <https://www.elprocus.com/current-mirror-circuit-working/>

[33] R. Jacob Baker <<CMOS Circuit Design, Layout and Simulation 3 eme edition >>, New York, Wiley, 2010.

[34] Paul R. Gray; Paul J. Hurst; Stephen H. Lewis; Robert G. Meyer <<Analysis and Design of Analog Integrated Circuits 4 eme edition>>, New York, Wiley,(2001).

[35] Deepti Purabiya; Ravi shankar Prasad; Elizabeth Besil << Transistor biasing in Integrated circuit of Electronics >>, 2ème Séminaire International sur « L'utilisation des sources d'énergie non conventionnelles pour le développement durable des zones Rurales, 2016

[36] A.P. Malvino, D.J. Bates, <<Electronic Principles>>, McGraw-Hill, 2016

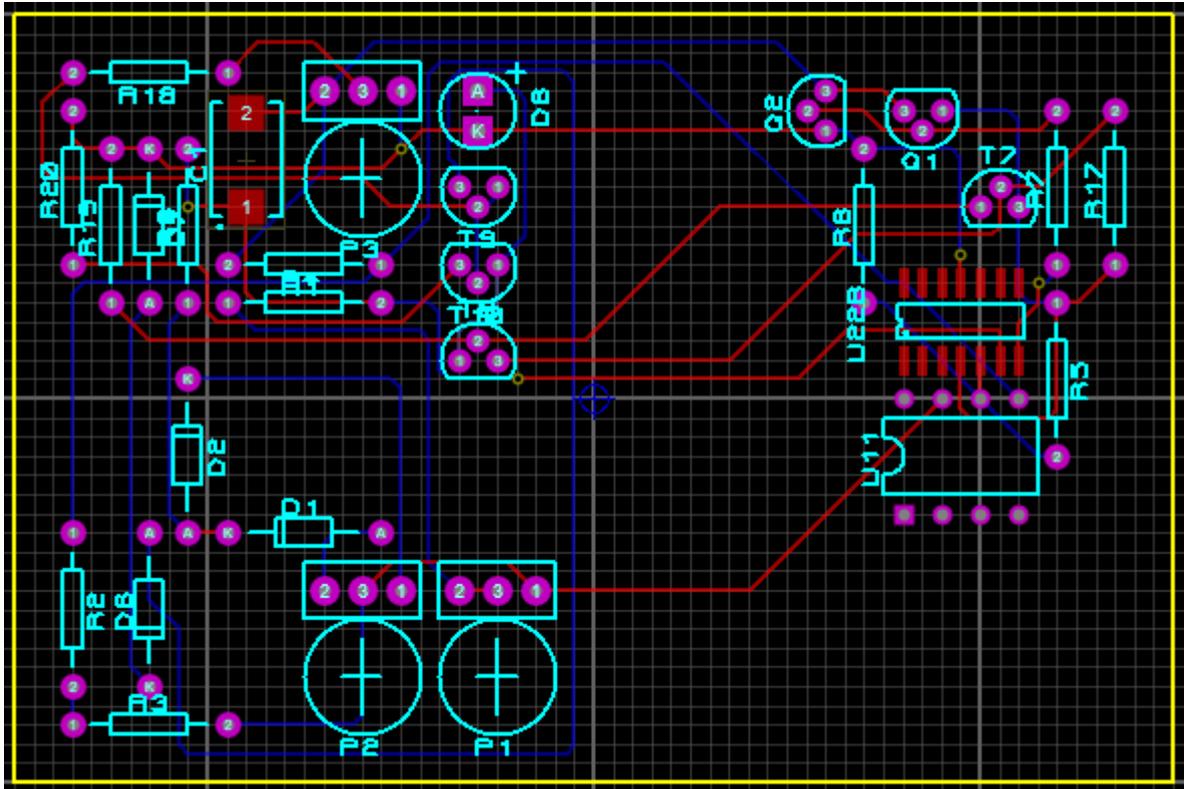
[37] <https://www.addicore.com/BS170-p/ad287.htm>

[38] <https://components101.com/articles/mosfet-symbol-working-operation-types-and-applications>

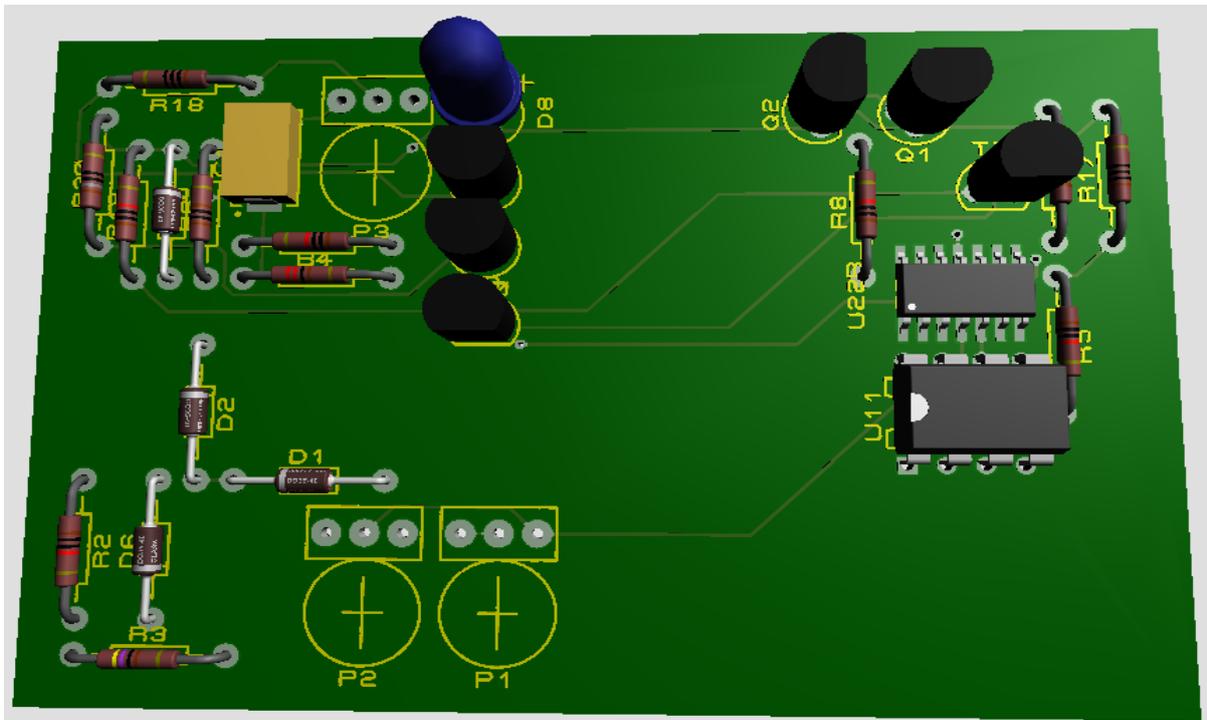
[39] <https://passionelectronique.fr/transistor-mosfet/v>

Annexe

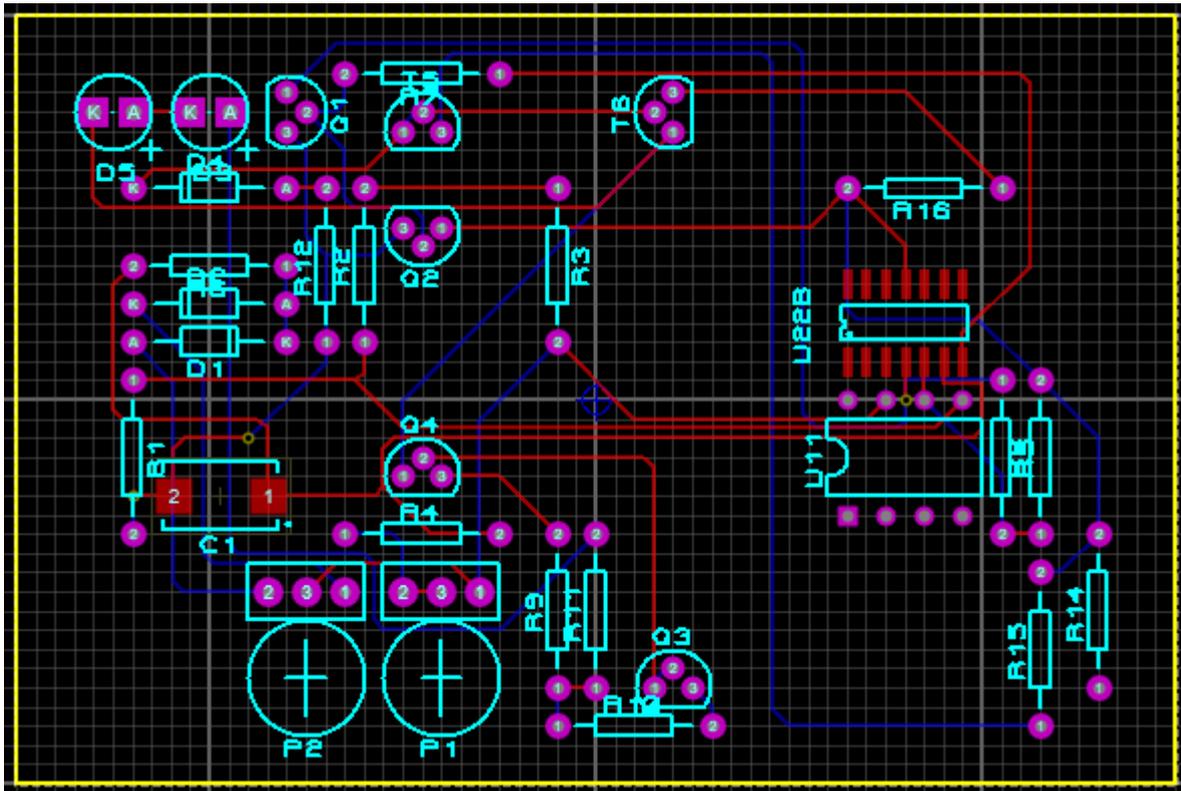
1. Circuit PCB du 1er montage



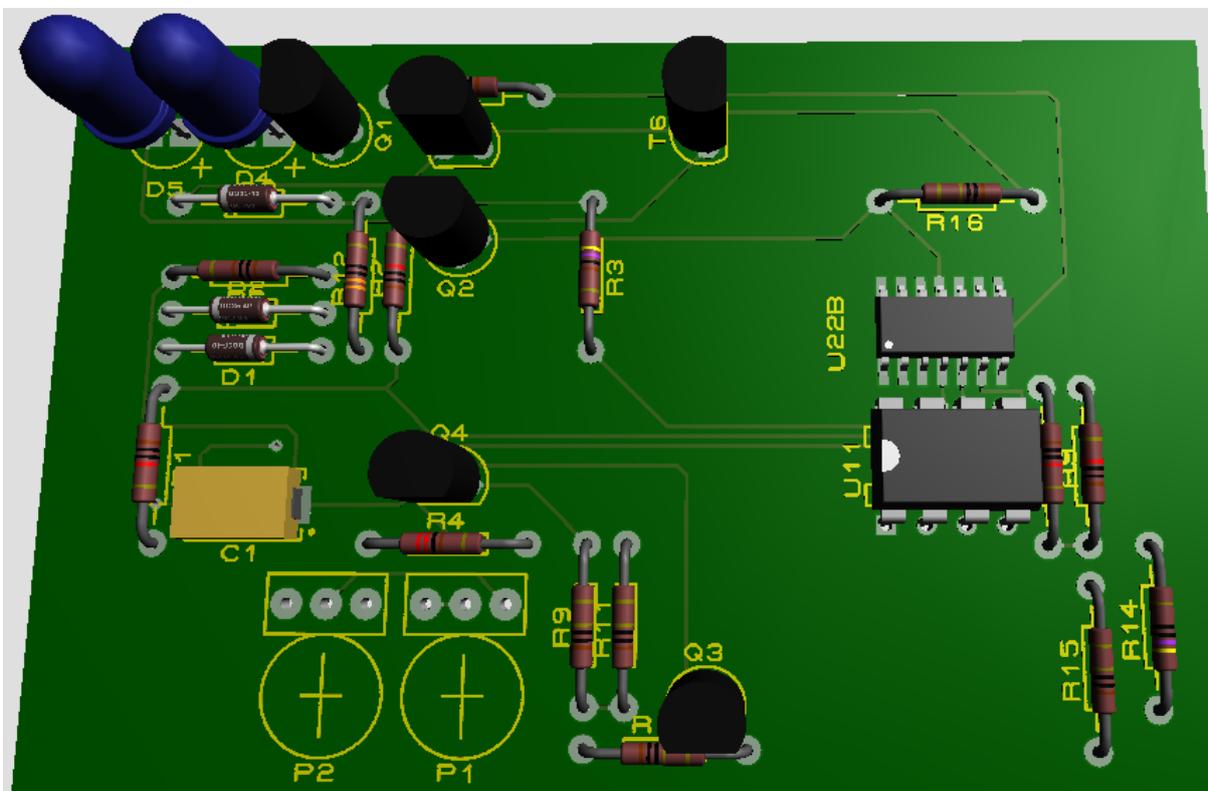
2. Le 1er montage en 3D



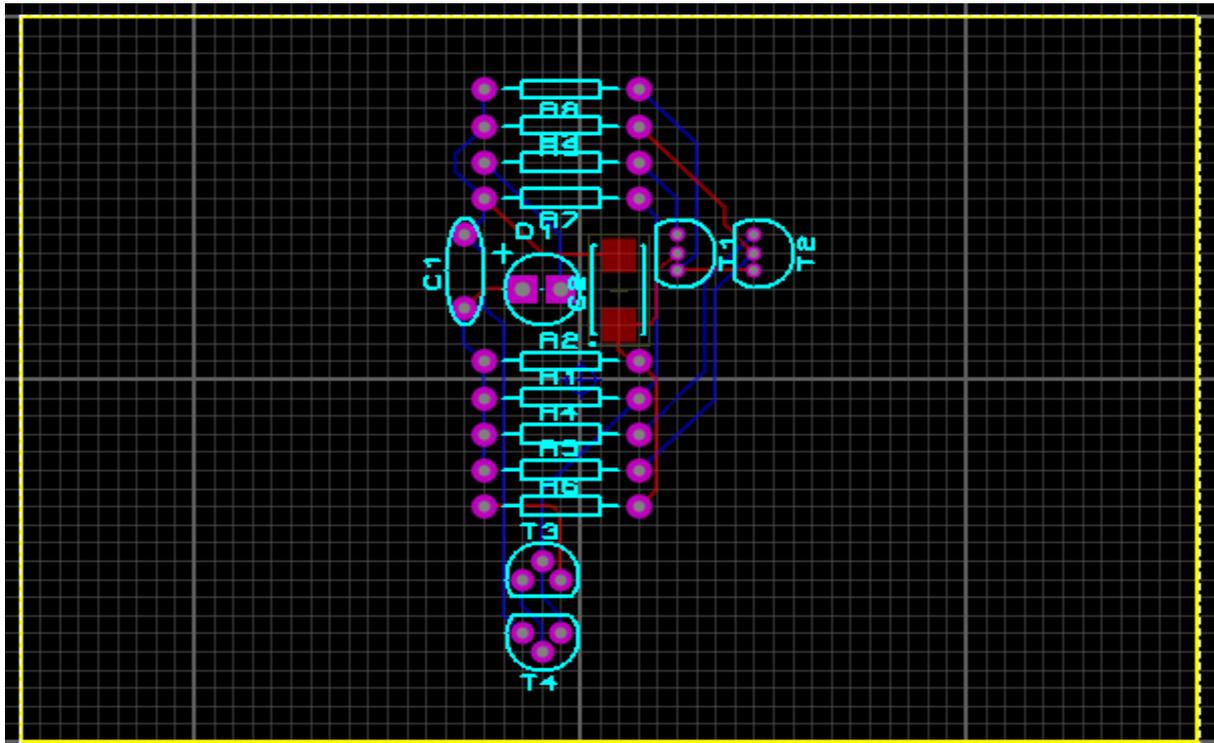
3.Circuit PCB du 2eme montage



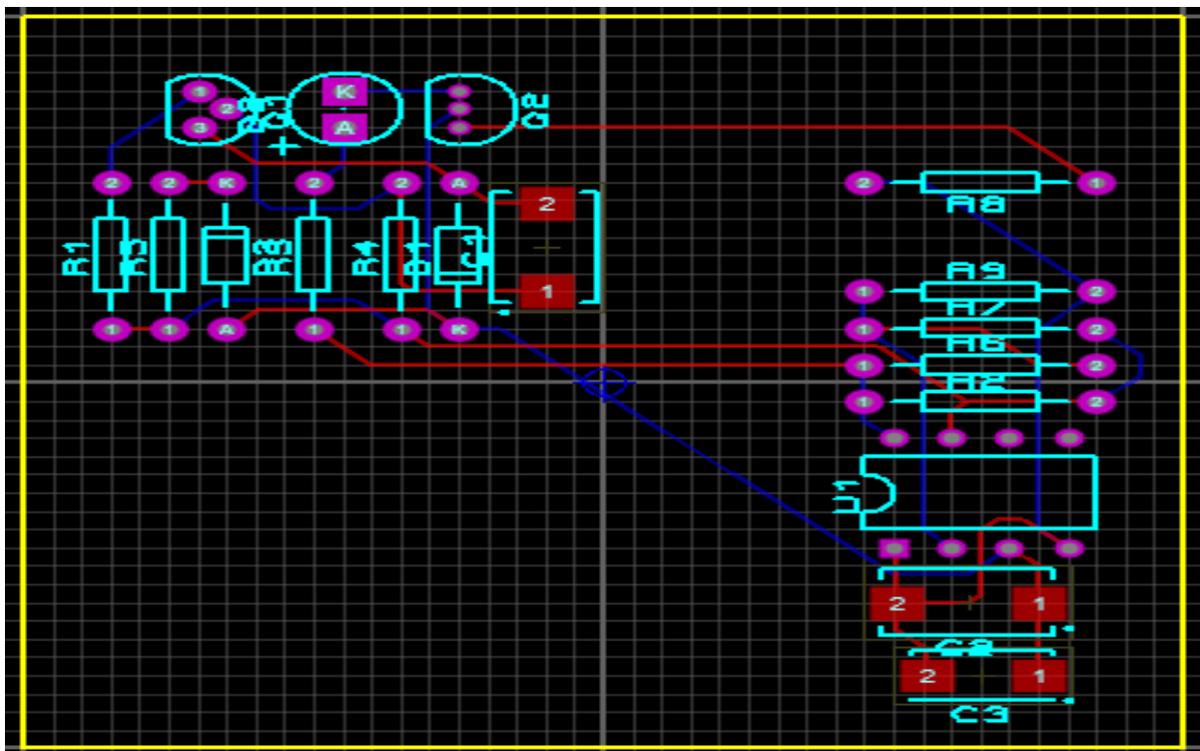
4.Le 2eme montage en 3D



5.Circuit PCB du 3eme montage



6.Circuit PCB du 4eme montage



7.circuits réalisées du variateur exponentiel et quadratique :

