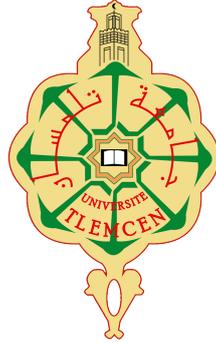


الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة أبي بكر بلقايد - تلمسان -
Université Aboubakr Belkaïd – Tlemcen –
Faculté de TECHNOLOGIE
Département de Génie Electrique et Electronique



PROJET DE FIN D'ETUDES

Présenté pour l'obtention du **diplôme** de **MASTER**

En : Electronique

Spécialité : Instrumentation

Par : RAHMI Abdelaziz & SENHADJI Ismail

Sujet

Étude d'un AUTO SWITCH à capteur hall linéaire

Soutenu publiquement, le **21 / 06 / 2023**, devant le jury composé de :

| | | | | |
|-------------|---------------------|-----|-----------------------|--------------|
| <i>Mme</i> | KADDOURI .N | MCB | Université de Tlemcen | Président |
| <i>Mell</i> | RAHOU .F.Z | MCB | Université de Tlemcen | Examineur |
| <i>M</i> | ZOUGAGH .N | MCB | Université de Tlemcen | Encadreur |
| <i>Mme</i> | BOUAZZA née GUEN .A | PR | Université de Tlemcen | Co-encadreur |

Année universitaire : 2022 / 2023

Remerciements

قال الله تعالى (وَاللَّهُ أَخْرَجَكُمْ مِّن بُطُونِ أُمَّهَاتِكُمْ لَا تَعْلَمُونَ شَيْئًا وَجَعَلَ لَكُمُ السَّمْعَ وَالْأَبْصَارَ وَالْأَفْئِدَةَ لَعَلَّكُمْ تَشْكُرُونَ) [النحل : ٧٨]
أحمد الله تعالى حمدا كثيرا طيبا مليء السماوات والأرض على ما أكرمني به من إتمام هذه المذكرة التي أرجو أن تنال رضاه.

Et après :

J'adresse mes vifs remerciements à mon encadreur Mr **ZOUGAGH Nabil** qui m'avoir fait l'honneur de diriger ce travail et de m'avoir permis grâce à ses compétences de le mener à terme.

Je remercie cordialement Mme **GUEN Ahlam**, professeur à l'Université de Tlemcen, pour son aide et ses efforts afin que ce travail puisse à compléter.

Je tiens à remercier également les membres de jury : Mme **KADDOURI Nadera** et Mme **RAHOU Fatima Zohra** pour avoir acceptés d'examiner ce travail.

Enfin je remercie tous les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail.

Dédicace

A mes chers parents

pour leurs sacrifices, leurs soutiens, leurs encouragements et leurs amours qui ont la raison de ma réussite. Qu'Allah leur accorde une bonne santé et une longue vie

A ma sœur et mon frère

pour leurs encouragements et leur soutien. Que Dieu vous protège une longue vie heureuse et un avenir prospère et plein de réussites

A toute la famille et mes amis

A mes amis de promotion du master électronique

Que Dieu vous garde et vous accorde des jours meilleurs

Ismail

Dédicace

Je dédie ce travail :

A mes chers parents,

Dont leurs mérites, leurs sacrifices, leurs soutiens et leurs qualités humaines qui ont fait de moi ce que je suis aujourd'hui. Qu'Allah leur protège et leur accorde toute la bonté, la tranquillité et la longue vie.

A mes frères, à mes sœurs et leurs petites familles,

Pour leurs conseils et leur soutien moral tout au long de mes études, à qui je ne souhaite que de bonheur et de réussite.

A la mémoire de ma grande mère,

A ma grande famille,

Pour leurs supports et présences dans les moments difficiles.

A mes amis et mes collègues de la promotion d'Electronique,

A tous mes autres amis,

Que Dieu vous accorde de belles journées pleines de succès

Abdelaziz

Résumé

Notre travail est de réaliser un prototype d'un appareil de sécurité concernant les appareils dotés de mode "stand-by" qui est un auto-switch basé sur un capteur hall linéaire qui réagit différemment lorsqu'un champ magnétique sera présent ou absent. En effet, lorsqu'il détecte que l'appareil vient d'être éteint à l'aide de la télécommande, il se déconnecte complètement de l'alimentation locale 220 V, économisant ainsi les 4 à 5 watts que le téléviseur consomme par heure (au fil des mois, il devient un kWh) et on évite le danger d'incendie, résultant d'une surchauffe des composants ou d'un éventuel court-circuit.

Mots-clés : Le noyau de ferrite, capteur à effet Hall UGN3503, AOP LM324, CD4093, Relais 12V.

Abstract

Our job is to prototype a safety device for stand-by mode devices, which is an auto-switch based on a linear hall sensor that reacts differently when a magnetic field is present or absent. Indeed, when it detects that the device has just been switched off with the help of the remote control, it completely disconnects from the local 220 V power supply, thus saving the 4 to 5 watts that the television consumes per hour (over the months, it becomes a kWh) and avoid the danger of fire, resulting from overheating of components or possible short circuit.

Keywords: The Ferrite Core, UGN3503 Hall Sensor, AOP LM324, CD4093, 12V Relay.

ملخص

مهمتنا هي صنع نموذج أولي لجهاز أمان للأجهزة ذات الوضع الاستعداد وهو عبارة عن مفتاح تلقائي يعتمد على مستشعر هول الخطي الذي يتفاعل بشكل مختلف عند وجود مجال مغناطيسي أو غيابه. هذا لأنه عندما يكتشف أن الجهاز قد تم إيقاف تشغيله للتو باستخدام جهاز التحكم عن بعد، فإنه ينفصل تمامًا عن مصدر التيار الكهربائي المحلي 220 فولت، وبالتالي يوفر 4 إلى 5 واط التي يستهلكها التلفزيون في الساعة (على مدار الأشهر، يصبح كيلو واط في الساعة) ويتم تجنب خطر نشوب حريق ناتج عن ارتفاع درجة حرارة أحد المكونات أو حدوث ماس كهربائي محتمل.

الكلمات الرئيسية : قلب الفريت، مستشعر هول UGN3503 ، LM324 AOP ، CD4093 ، مرحل 12 فولت.

Table des matières

| | |
|---|-------------|
| Remerciements | i |
| Dédicace | ii |
| Dédicace | iii |
| Résumé | iv |
| Abstract | iv |
| | v |
| Tables des matières | viii |
| Table des figures | xi |
| Liste des tableaux | xi |
| Introduction générale | 1 |
| 1 Généralités sur les capteurs | 2 |
| 1.1 Préface | 3 |
| 1.2 Définition | 3 |
| 1.3 Classification | 3 |
| 1.4 Différents types de sortie d'un capteur | 3 |
| 1.4.1 Signal analogique | 4 |
| 1.4.2 Signal numérique | 4 |
| 1.5 Capteurs actifs ou passifs | 4 |
| 1.5.1 Capteur actif | 4 |
| 1.5.2 Capteur passif | 5 |
| 1.5.3 Le capteur composite | 6 |
| 1.6 Étude des principaux capteurs | 7 |
| 1.6.1 Capteurs à effet piézoélectrique | 7 |
| 1.6.1.1 Capteur de force | 7 |
| 1.6.1.2 Capteur de pression | 8 |
| 1.6.1.3 Capteur d'accélération | 8 |
| 1.6.1.4 Transducteur ultrasonique | 9 |
| 1.6.2 Capteurs à effet Hall | 10 |
| 1.6.2.1 Principe | 10 |
| 1.6.2.2 Mesurer le courant | 10 |
| 1.6.3 Capteur à effet photoélectrique | 11 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1.6.3.1 | L'effet photoélectrique | 11 |
| 1.6.3.2 | Les photodiodes | 11 |
| 1.6.4 | Capteurs à effet thermoélectrique | 12 |
| 1.6.4.1 | Effet thermoélectrique (ou effet Seebek) | 12 |
| 1.6.4.2 | Thermomètre à thermocouple | 12 |
| 1.6.5 | Capteurs passifs | 13 |
| 1.6.5.1 | Les photorésistances | 13 |
| 1.6.5.2 | Capteurs potentiométriques | 13 |
| 1.6.5.3 | Capteurs à jauges d'extensométrie | 14 |
| 1.6.5.4 | Thermistance | 16 |
| 1.6.6 | Capteurs à sortie numérique directe | 17 |
| 1.6.7 | Détecteurs de proximité | 18 |
| 1.6.7.1 | Détection inductive | 18 |
| 1.6.7.2 | Détection capacitive | 19 |
| 2 | Les composants utiles | 21 |
| 2.1 | Préface | 22 |
| 2.2 | Capteur inductif à effet HALL UGN3503 | 22 |
| 2.3 | Le CMOS CD4093B | 23 |
| 2.3.1 | Caractéristiques et spécifications | 23 |
| 2.3.2 | Brochage | 24 |
| 2.3.3 | Fonctionnement | 24 |
| 2.4 | Le relais électromécanique | 25 |
| 2.4.1 | Constitution | 25 |
| 2.4.2 | Fonctionnement | 26 |
| 2.4.3 | Désavantages du relais électro-mécanique | 27 |
| 2.5 | Amplificateur opérationnel LM324 | 27 |
| 2.5.1 | Fonctionnement du comparateur LM324 | 28 |
| 2.5.2 | Caractéristiques | 29 |
| 2.6 | Régulateur de tension LM 7812 | 29 |
| 2.6.1 | Régulateurs fixes | 29 |
| 2.6.2 | Type de boîtier des régulateurs de tension | 30 |
| 2.7 | Noyau de ferrite | 31 |
| 2.7.1 | Applications | 31 |
| 2.7.2 | Critères de choix | 31 |
| 2.8 | Transformateur | 31 |
| 2.8.1 | Constitution | 31 |
| 2.8.2 | Caractéristiques du transformateur parfait | 32 |
| 2.8.3 | Principe de fonctionnement d'un transformateur | 33 |
| 2.9 | Le fusible | 33 |
| 2.9.1 | Principe de fonctionnement d'un fusible | 33 |
| 2.10 | Potentiomètre | 34 |
| 2.10.1 | Spécification | 34 |
| 2.11 | Transistor BC547 (NPN) | 34 |
| 2.11.1 | Caractéristiques du transistor BC547 | 35 |
| 2.11.2 | Fonctionnement du transistor BC547 | 35 |
| 2.12 | Conclusion | 35 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 3 | Étude et réalisation d'un auto-switch | 36 |
| 3.1 | Introduction | 37 |
| 3.2 | Présentation du logiciel de simulation | 37 |
| 3.2.1 | Présentation de PROTEUS | 37 |
| 3.2.1.1 | Présentation du module ISIS | 37 |
| 3.2.1.2 | Présentation du module ARES | 38 |
| 3.3 | Présentation du projet | 39 |
| 3.4 | Interprétation modulaire des différents blocs électrique | 41 |
| 3.4.1 | Alimentation 220VAC/12VDC | 41 |
| 3.4.1.1 | Adaptation | 42 |
| 3.4.1.2 | Redressement | 42 |
| 3.4.1.3 | Filtrage | 43 |
| 3.4.1.4 | Régulation | 43 |
| 3.4.2 | Capteur à effet Hall UGN3503 | 44 |
| 3.4.3 | Comparateur LM324 avec signalisation à LED vert | 46 |
| 3.4.4 | Circuit porte NAND CD4093 | 48 |
| 3.4.5 | Relais 12V avec signalisation à LED rouge | 50 |
| 3.5 | Fonctionnement de l'auto-switch | 52 |
| 3.6 | La réalisation pratique | 60 |
| 3.6.1 | Dessin et routage de schéma électrique | 60 |
| 3.6.2 | Le typon | 61 |
| 3.6.3 | Constitution de la plaque | 61 |
| 3.6.4 | Insolation | 62 |
| 3.6.5 | Révélation | 62 |
| 3.6.6 | Gravure | 63 |
| 3.6.7 | Perçage et soudage | 63 |
| 3.7 | Nomenclature | 64 |
| | Conclusion générale | 66 |
| | Bibliographie | 67 |

Table des figures

| | | |
|------|---|----|
| 1.1 | Structure générale d'un capteur | 3 |
| 1.2 | Différents types de signaux | 4 |
| 1.3 | Structure d'un capteur composite | 7 |
| 1.4 | L'effet piézoélectrique | 7 |
| 1.5 | Principe d'un capteur de force | 7 |
| 1.6 | Principe d'un capteur de pression | 8 |
| 1.7 | Principe d'un capteur d'accélération | 9 |
| 1.8 | Principe d'un capteur ultrason | 9 |
| 1.9 | L'effet Hall | 10 |
| 1.10 | Mesure de courant en boucle fermé | 10 |
| 1.11 | Image et symbole d'une photodiode | 11 |
| 1.12 | Caractéristique courant/tension d'une photodiode en fonction de l'éclairement | 11 |
| 1.13 | Principe de fonctionnement d'un thermocouple | 12 |
| 1.14 | Image et symbole d'une photorésistance | 13 |
| 1.15 | Caractéristique lumière/tension d'une photorésistance [5] | 13 |
| 1.16 | Un potentiomètre | 14 |
| 1.17 | Position de curseur d'un potentiomètre | 14 |
| 1.18 | Un conducteur | 14 |
| 1.19 | Principe d'une jauge d'extensométrie [6] | 15 |
| 1.20 | 1/4 pont de Wheatstone [4] | 16 |
| 1.21 | Symboles pour une thermistance [7] | 16 |
| 1.22 | Résistance en fonction de la température pour les deux types de thermistance | 17 |
| 1.23 | DS1820 et DHT22 | 18 |
| 1.24 | Composition du détecteur de proximité inductif [10] | 18 |
| 1.25 | Principe de détecteur inductif | 19 |
| 1.26 | Détecteurs inductifs | 19 |
| 1.27 | Principe d'un détecteur capacitif [11] | 20 |
| 2.1 | Capteur UGN3503 | 22 |
| 2.2 | Brochage et schéma interne du capteur UGN3503 [13] | 23 |
| 2.3 | Brochage de CMOS CD4093B [15] | 24 |
| 2.4 | Schéma synoptique d'une porte logique NAND | 24 |
| 2.5 | Cycle d'hystérésis du trigger [17] | 25 |
| 2.6 | Composition d'un relais [19] | 25 |
| 2.7 | Construction de relais | 26 |
| 2.8 | Symboles de relais [19] | 26 |
| 2.9 | Fonctionnement monostable de relais | 27 |
| 2.10 | Brochage du LM324 | 28 |
| 2.11 | LM324 en comparateur de tension [21] | 28 |
| 2.12 | Régulateur LM7812 | 29 |

| | |
|--|----|
| 2.13 Brochage LM7805 | 30 |
| 2.14 TO 03 (à gauche), TO 220 (centre), TO 92 (à droite) [24] | 30 |
| 2.15 Noyau de ferrite type E et 8 | 31 |
| 2.16 Présentation d'un transformateur monophasé idéal [27] | 32 |
| 2.17 Quelques types de transformateurs | 33 |
| 2.18 Représentation d'un porte fusible verre encastrable | 34 |
| 2.19 Présentation d'un potentiomètre | 34 |
| 2.20 Schéma représentatif de brochage du transistor BC547 [32] | 35 |
| | |
| 3.1 L'interface de PROTEUS ISIS [35] | 38 |
| 3.2 Schéma électrique de l'auto-switch complet. | 40 |
| 3.3 Bloc d'alimentation 220VAC/12VDC sous ISIS | 41 |
| 3.4 Bloc d'alimentation 220VAC/12VDC sous PCB | 41 |
| 3.5 Représentation du signal d'entrée et de sortie d'un abaisseur 220VAC/12VAC | 42 |
| 3.6 Représentation du signal délivré par le pont redresseur | 42 |
| 3.7 Représentation du signal après filtrage | 43 |
| 3.8 Représentation de la tension stabilisée | 44 |
| 3.9 Représentation de : a) Le circuit du détecteur à la présence du courant de secteur; b) Le circuit du détecteur à l'absence du courant de secteur; C) Géométrie du capteur à effet Hall UGN3503 (côté sensible est le côté qui ne contient aucun marquage) | 45 |
| 3.10 Bloc comparateur attaqué par la tension générée par le capteur sous ISIS . | 46 |
| 3.11 Bloc comparateur et capteur sous PCB | 46 |
| 3.12 Représentation des tensions d'entrée et de sortie du comparateur IC2/D . . | 47 |
| 3.13 Représentation des tensions d'entrée et de sortie du comparateur IC2/C . . | 47 |
| 3.14 Représentation des tensions d'entrée et de sortie du comparateur IC2/A . . | 48 |
| 3.15 Représentation du bloc électrique contenant le circuit logique CD4093 sous ISIS | 49 |
| 3.16 Représentation du bloc électrique contenant le circuit logique CD4093 sous PCB | 49 |
| 3.17 Les sorties possibles de FLIP-FLOP selon les entrées | 50 |
| 3.18 Bloc qui commande de relais sous ISIS | 50 |
| 3.19 Bloc qui commande de relais sous PCB | 51 |
| 3.20 La tension de sortie de IC3/A et tension VBM du NPN BC547 | 53 |
| 3.21 Simulation de bloc comparateur à condition que VOUT = 3.2V et le trimmer à l'état initial | 54 |
| 3.22 Caractérisation électrique Tension-température du capteur UGN3503 | 55 |
| 3.23 Simulation de bloc comparateur où le trimmer est à l'état initial | 56 |
| 3.24 La tension de sortie de U2/A et tension VBM du NPN BC547 | 57 |
| 3.25 Simulation de l'auto-switch, après la déconnexion du secteur et à conden- sateurs chargés | 58 |
| 3.26 Simulation de l'auto-switch, après la déconnexion du secteur et à conden- sateurs déchargés | 59 |
| 3.27 Circuit imprimé de l'auto-switch, côté soudures | 60 |
| 3.28 Circuit imprimé de l'auto-switch, côté composants | 61 |
| 3.29 Constitution de la plaque pré-sensibilisée | 61 |
| 3.30 Insolation de la plaque | 62 |
| 3.31 Le révélateur et la plaque après révélation | 62 |
| 3.32 La gravure dans une cuve verticale | 63 |
| 3.33 La plaque coté pistes et soudures | 63 |

| | |
|---|----|
| 3.34 la carte complète après l'implantés des composants | 64 |
|---|----|

Liste des tableaux

| | |
|--|---|
| 1.1 Caractérisation des capteurs actifs | 5 |
| 1.2 Caractérisation des capteurs passifs | 6 |

Introduction générale

Dans notre vie, l'électricité est un besoin nécessaire et une source indispensable pour une société moderne. Cependant, le contact permanent avec cette ressource compromet un risque d'accident mortel. Par conséquent, l'utilisation d'un dispositif de protection est primordiale pour éviter ces accidents et augmenter le niveau de sécurité.

Notre projet de fin d'études, concernant la réalisation d'un dispositif de sécurité et d'économie domestique, surnommé « AUTO SWITCH » à base de capteur linéaire à effet hall, qui commande la déconnexion d'une charge, dotée de mode "stand-by", du réseau électrique domestique 220V, et admet une protection de cette charge contre le surchauffe et le court-circuit.

Pour atteindre les objectifs de notre projet, nous divisons le document en trois chapitres, organisés comme suit :

- Le premier chapitre introduit la définition, les caractéristiques électriques et les modes de fonctionnement des capteurs.
- Afin d'enrichir et de mettre en œuvre notre projet, nous présentons les différents composants, les composants nécessaires et leurs principes de fonctionnement dans le deuxième chapitre.
- Enfin, le troisième chapitre traite de la simulation avec le logiciel. PROTEUS, où on a divisé le circuit électrique du projet en blocs, cela pour faciliter l'interprétation de ces différents étages.

Le mémoire sera finalisé en donnant une conclusion et des perspectives pour notre travail effectué.

Chapitre 1

Généralités sur les capteurs

1.1 Préface

Aujourd'hui, dans plusieurs domaines tels que l'industrie, la recherche scientifique, les services et les loisirs. . . , les paramètres physiques comme la température, la vitesse, la position, la force et la luminosité... ont besoin d'être contrôlées. Les capteurs et les détecteurs sont les éléments essentiels pour mesurer ces grandeurs physiques dont les dispositifs de contrôle ont besoin pour que les systèmes techniques prennent des décisions.

1.2 Définition

Un **capteur** est un dispositif de prélèvement d'informations qui transforme une grandeur physique appelé le « **mesurande** » qui est une grandeur analogique, en une grandeur souvent électrique (courant, tension, charge). Cette grandeur qui représente la grandeur prélevée, peut être utilisée dans des fins de mesure ou de contrôle. [1]

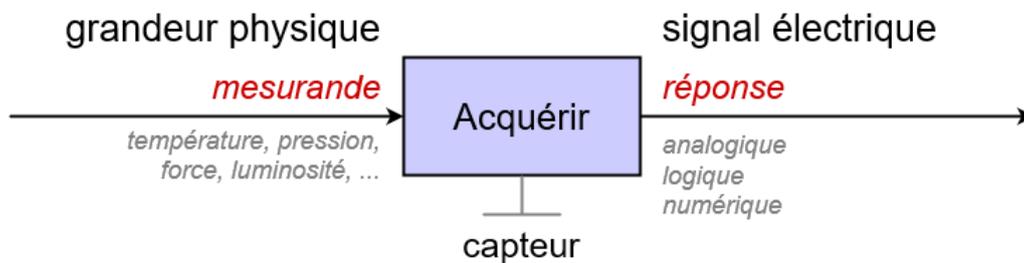


FIGURE 1.1 – Structure générale d'un capteur

1.3 Classification

Les capteurs sont classés par plusieurs manières :

- Selon la **mesurande** à convertir, exemple : position, température, pression, etc.
- Selon la **nature** du signal de sortie soit analogique, soit numérique ou logique
- En fonction de leur **principe physique**, exemple : résistance, piézoélectrique, etc.
- En fonction de leur **principe opérationnel** soit actif ou passif [1]

1.4 Différents types de sortie d'un capteur

Le signal qui sort du capteur peut être analogique ou numérique.

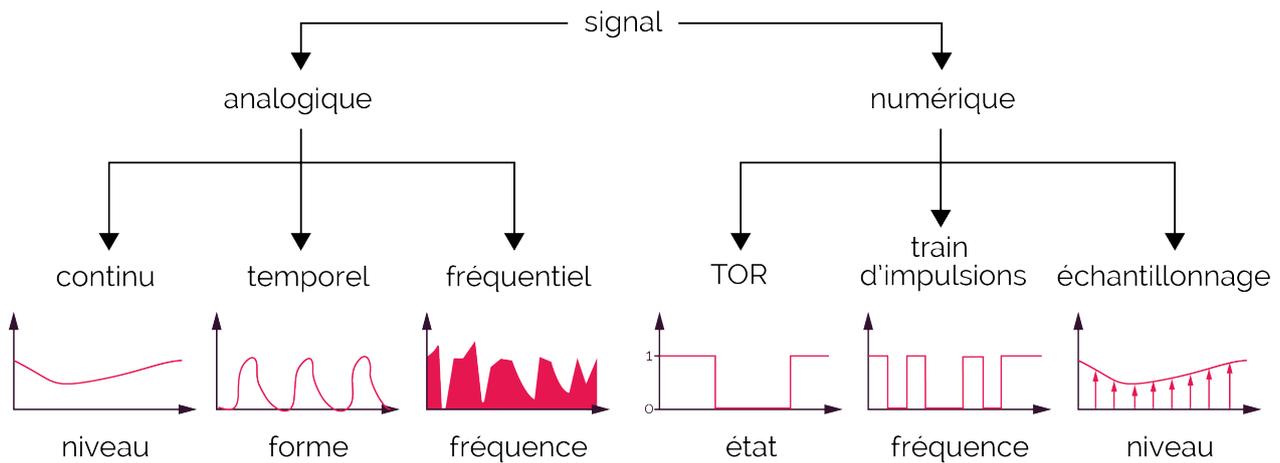


FIGURE 1.2 – Différents types de signaux

1.4.1 Signal analogique

Si l'amplitude de grandeur physique d'un signal peut prendre une infinité de valeurs dans un intervalle donné, ce signal est considéré comme analogique.

- **Signal continu** : ce signal variant d'une façon 'lente' dans le temps. Exemple : niveau, température, débit.
- **Forme** : l'importance donne à la forme qui va prendre ce signal. Exemple : chromatographie, impact, pression cardiaque.
- **Fréquentiel** : c'est le spectre des fréquences qui transporte l'information souhaitée. Exemple : sonar, spectrographie, analyse vocale.

1.4.2 Signal numérique

Si l'amplitude de la grandeur physique d'un signal peut uniquement prendre qu'un nombre fini de valeurs, ce signal est considéré comme numérique. Généralement, ce nombre fini de valeurs représente une puissance de 2.

- **Tout ou rien (TOR)** : il indique l'état bivalent du système.
Par exemple : vanne fermée ou ouverte.
- **Train d'impulsion** : chaque impulsion donne l'image d'un changement d'état.
Par exemple : un codeur incrémental donne un nombre connu et fini d'impulsion par tour.
- **Echantillonnage** : c'est l'image numérique du signal analogique.
Par exemple : niveau, débit, température. [2]

1.5 Capteurs actifs ou passifs

1.5.1 Capteur actif

Le **capteur actif** agit comme un « générateur », il se caractérise par le capable de convertir la composante énergétique propre de la grandeur à prélevée « mesurande » (énergie mécanique, thermique, rayonnement, etc.) en une grandeur électrique. [3]

Les principes physiques les plus classiques sont :

| Principe physique | Mesurande | Grandeur de sortie |
|---|---|--------------------|
| Thermoélectrique : un circuit composé de deux conducteurs de propriété chimique différente, dont les jonctions sont portées à des températures différentes, permet de délivrer une force électromotrice d'origine thermique. | Différence de température | Tension électrique |
| Piézoélectrique : Les sollicitations mécaniques sur certains matériaux dits piézoélectriques (quartz) provoque une déformation et l'apparition d'une même charge électrique de signe différent sur la face opposée. | Variation de contrainte mécanique | Charge électrique |
| Photoélectrique : libération de charges électriques dans une substance sous l'impact d'un rayonnement lumineux ou plus généralement d'une onde électromagnétique. | Flux de rayonnement optique | Tension électrique |
| Photovoltaïque : des électrons sont libérés près de la jonction PN lumineuse, et leur mouvement module la tension à leurs bornes. | Flux de rayonnement optique | Tension électrique |
| Hall : le champ magnétique et le courant électrique créent une différence de potentiel dans un matériau semi-conducteur. | Courant électrique dans un champ magnétique | Tension électrique |
| Induction électromagnétique : Un changement de flux induit magnétiquement dans un circuit crée un potentiel électrique. | Variation de flux d'induction magnétique | Tension électrique |

TABLE 1.1 – Caractérisation des capteurs actifs

1.5.2 Capteur passif

Le capteur passif est un dipôle dont son **impédance** change en fonction du mesurande. Ce changement d'impédance est attribué à : [3]

- Soit la **taille** du capteur change, c'est ainsi que fonctionnent plusieurs capteurs de position. Exemple : inductances à noyaux mobiles, condensateurs à armature mobile, potentiomètres, etc.
- **Déformation** causée par la force, ou amplitude relative à celle-ci. Exemple : la jauge d'extensométrie associée à une structure déformée, armature de condensateur est soumis à une différence de pression, etc.

| Mesurande | Caractéristique électrique sensible | Type de matériau utilisé |
|-----------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|
| Température | Résistivité | Métaux |
| Très basse température | Constante diélectrique | verre |
| Flux de rayonnement optique | Résistivité | Semi-conducteurs |
| Déformation | Résistivité | Silicium dopé, alliage de Nickel |
| | Perméabilité magnétique | Alliage ferromagnétique |
| | Capacité | Métaux ou verre + semi-conducteurs |
| Position (aimant) | Résistivité | Matériaux magnéto résistants |
| Position | Induction ou capacité | |
| Humidité | Résistivité | Chlorure de lithium |

TABLE 1.2 – Caractérisation des capteurs passifs

Le capteur passif se comporte en sortie comme un dipôle passif qui peut être résistif, capacitif ou inductif. Les variations de l'impédance d'un capteur ne sont mesurables qu'en présence d'un circuit électrique qui représente son conditionneur.

Généralement, le conditionneur peut être :

- De type potentiométrique : liaison série : source, capteur et résistance peuvent être ou non du même type ;
- Un pont d'impédance dont l'équilibre donne l'impédance du capteur et dont le déséquilibre donne la mesure des variations de cette impédance ;
- Un circuit oscillant dont la variation de l'impédance fixe la fréquence d'oscillation ;

Le choix d'un conditionneur est parmi les étapes importantes dans la réalisation d'un ensemble de mesure. Par conséquent, l'association capteur-conditionneur qui peut déterminer le signal électrique. [3]

1.5.3 Le capteur composite

Le **capteur composite** constitue l'ensemble formé par le **corps d'épreuve** et un **capteur** actif ou passif. Il donne une grandeur physique non électrique appelée **mesurande secondaire**, et à l'aide d'un capteur adéquat, il traduit ce dernier en grandeur électrique.

[1]

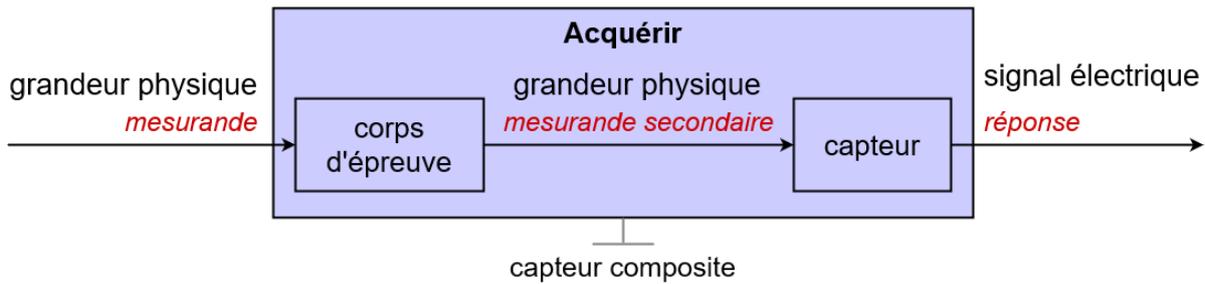


FIGURE 1.3 – Structure d'un capteur composite

Par exemple : un capteur de force basé sur des jauges d'extensomètres.

1.6 Étude des principaux capteurs

1.6.1 Capteurs à effet piézoélectrique

Une force appliquée à une lame de quartz provoque une déformation qui se traduit par un potentiel électrique. [4]

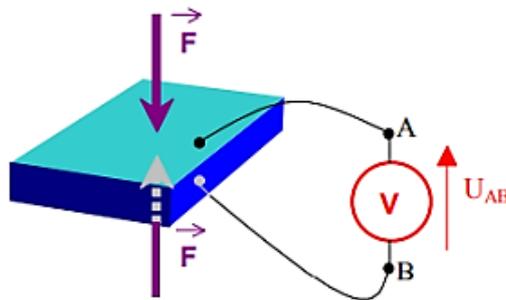


FIGURE 1.4 – L'effet piézoélectrique

1.6.1.1 Capteur de force

Un matériau piézoélectrique est placé entre deux parties métalliques (matériau conducteur) qui subissent une force F . La déformation du matériau piézoélectrique fait apparaître une charge électrique à ses extrémités et donc une différence de potentiel U entre les deux pièces métalliques. [1]

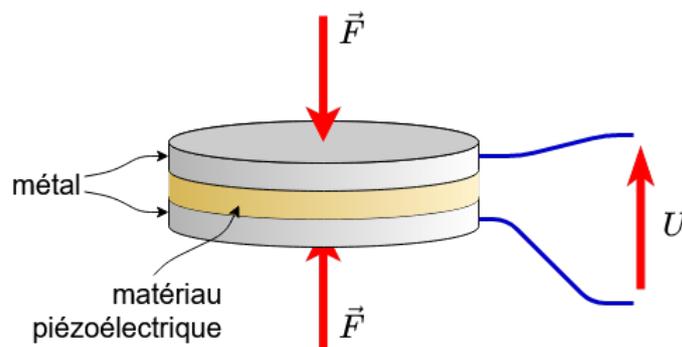


FIGURE 1.5 – Principe d'un capteur de force

La tension U mesurée entre deux pièces métalliques sera proportionnelle à la force F :

$$U = k(F + F) = 2k.F$$

Où : k = constante liée au matériau



Ce type de capteur n'est adapté qu'à la mesure de forces dynamiques (vibrations, impact, ...) car la tension U ne peut pas garder une valeur constante.

1.6.1.2 Capteur de pression

Lorsqu'un objet (gaz, liquide ou solide) exerce une force F sur une paroi de surface S , la pression P appliqué par l'objet peut être déterminée par la relation suivante :

$$P = \frac{F}{S}$$

Avec l'unité :

- 1Pascal = 1Newton/ $1m^2$

Un capteur de force est inséré dans la paroi du boîtier où une pression P est présente. Une force F (due à la pression P) affecte sur cette face du capteur et une force F_0 (due à la pression extérieure P_0) affecte sur l'autre face.

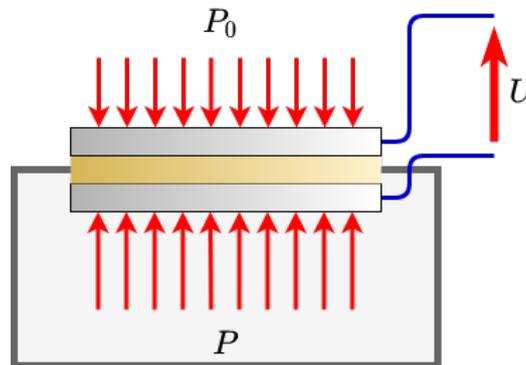


FIGURE 1.6 – Principe d'un capteur de pression

$$\begin{cases} F = P.S \\ F_0 = P_0.S \end{cases} \xrightarrow{\text{donner}} U = k(F + F_0) = k.S(P + P_0) = k'(P + P_0)$$

Il s'agit d'un capteur de pression qui mesure la pression totale qui est la somme de la pression de l'enceinte P et de la pression extérieure P_0 . [1]

1.6.1.3 Capteur d'accélération

Un solide en mouvement est placé d'un côté du capteur de force, et aussi, sur l'autre côté du capteur est montée une masse m , ou le poids du solide est compensé par le poids de la masse :

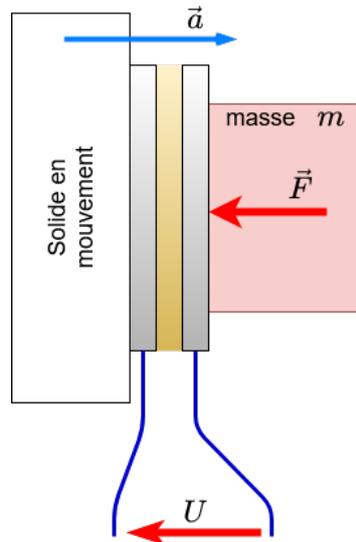


FIGURE 1.7 – Principe d'un capteur d'accélération

La variation de la vitesse V du solide en mouvement, ou son accélération a , entraîne une force F dans la face du capteur contenant la masse, définie par relation :

$$\begin{cases} F = m.a \\ U = 2k.F \end{cases} \quad \xrightarrow{\text{donner}} \quad U = 2k.m.a$$

1.6.1.4 Transducteur ultrasonique

La réception du son génère un changement de pression sur la surface du récepteur. Un capteur de pression situé sur cette surface produit un différence de potentiel électrique image au signal ultrasonore. [1]

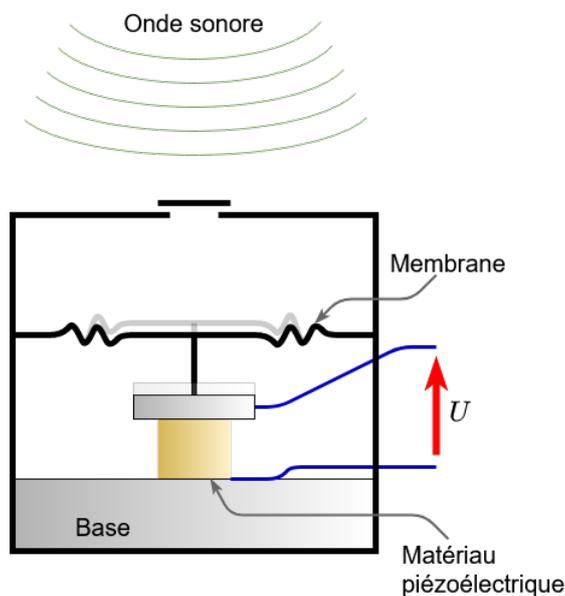


FIGURE 1.8 – Principe d'un capteur ultrason

1.6.2 Capteurs à effet Hall

1.6.2.1 Principe

Un barreau de semi-conducteur exposé à un champ magnétique uniforme B (axe Z) et traversée par un courant électrique d'intensité I (axe Y), est le centre de la force électromotrice U_H générée entre les deux extrémités de son axe X.

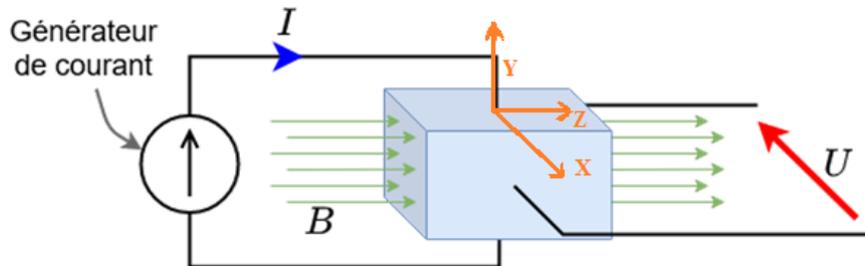


FIGURE 1.9 – L'effet Hall

On détermine la tension de Hall U_H par la relation : [1]

$$U_H = R_H \frac{I \times B}{e}$$

Avec :

- R_H : constante de Hall
- I : intensité de la source de courant [A]
- B : intensité du champ magnétique [T] (tesla)
- e : épaisseur du barreau de silicium [m]

1.6.2.2 Mesurer le courant

Le courant I circulant dans un conducteur génère un champ magnétique proportionnel à l'intensité de ce courant.

$$B = \frac{\mu}{2\pi r} \times I$$

Un anneau de fer (métal avec une perméabilité magnétique élevée) concentre le champ magnétique entre l'entrefer, dans lequel le capteur de champ magnétique est placé.

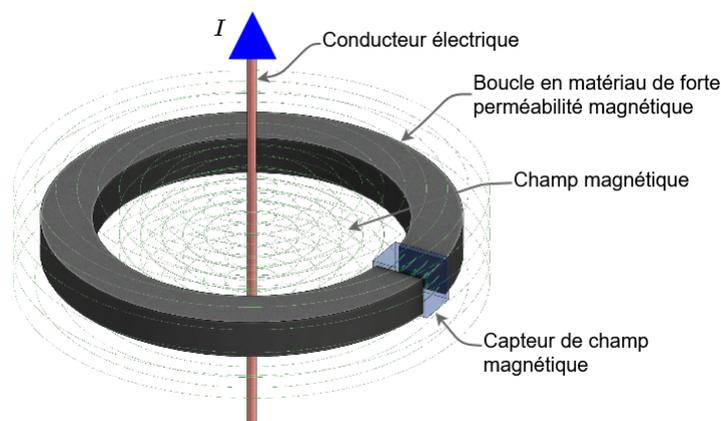


FIGURE 1.10 – Mesure de courant en boucle fermé

Le capteur fournit une tension : $U = k.B = k'.I$ avec k et k' constantes.

1.6.3 Capteur à effet photoélectrique

1.6.3.1 L'effet photoélectrique

Un semi-conducteur est parmi les isolants (un matériau pauvre en porteurs de charges électriques).

Quand un photon d'énergie suffisante excite un atome du matériau, il libère facilement un électron qui participe à la conduction. [1]

1.6.3.2 Les photodiodes

Une photodiode est une diode à base de semi-conducteur (silicium) dont la jonction PN peut être exposée à un éclairage lumineux.



FIGURE 1.11 – Image et symbole d'une photodiode

Le graphe $I=f(U)$ concernant une photodiode dépend de l'éclairement (Lux) de la jonction PN.

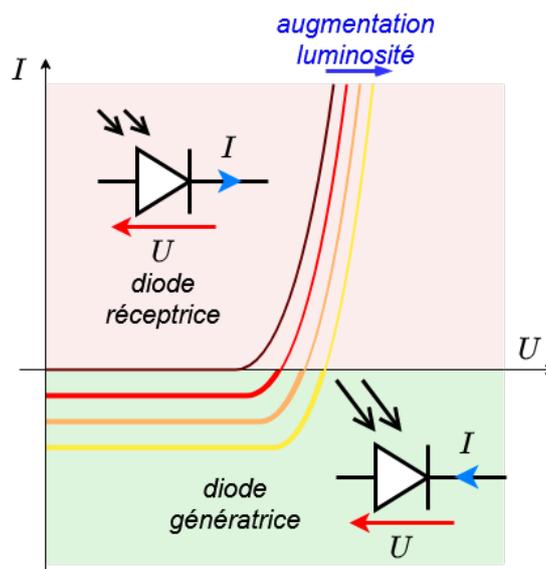


FIGURE 1.12 – Caractéristique courant/tension d'une photodiode en fonction de l'éclairement

On voit que lorsque la diode est éclairée, elle peut se comporter comme générateur : $I < 0 \Rightarrow U > 0$; il s'agit alors d'une cellule solaire (effet photovoltaïque). [1]

1.6.4 Capteurs à effet thermoélectrique

1.6.4.1 Effet thermoélectrique (ou effet Seebeck)

L'effet Seebeck (nommé d'après le physicien allemand Thomas Johann Seebeck) est un effet thermoélectrique au cours duquel une différence de potentiel se produit à la jonction de deux matériaux soumis à une différence de température.

1.6.4.2 Thermomètre à thermocouple

Un thermocouple, ou couple thermoélectrique (CTE), est une paire de matériaux qui utilise l'effet Seebeck pour mesurer la température.

Le thermocouple est basé sur le phénomène selon lequel lorsque deux fils de métal différent sont connectés, une tension apparaît au point de contact. La taille de cette tension thermique varie avec la température, et en mesurant cela, la température au point de contact peut être déterminée. Le point A est le point de mesure porte le nom « jonction chaude » et le point B est appelé « point de référence » ou « soudures froides ». [9]

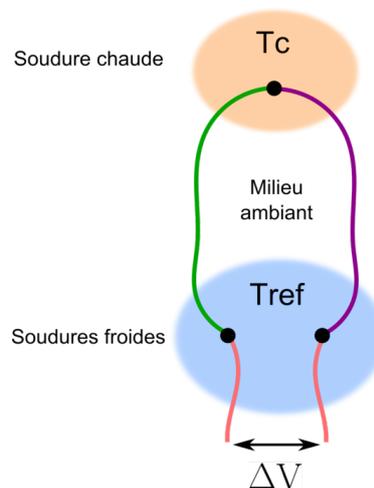


FIGURE 1.13 – Principe de fonctionnement d'un thermocouple

La tension mesurée par est fonction de la température T_c de la « soudure chaude » et de la température T_{ref} des « soudures froides »



Le phénomène inverse est aussi vrai : si on applique une tension, alors il y aura un échauffement ou un refroidissement au point de liaison des deux conducteurs (effet Peltier).

Application : grande plage des températures mesurées (900 à 1300 °C).

1.6.5 Capteurs passifs

1.6.5.1 Les photorésistances

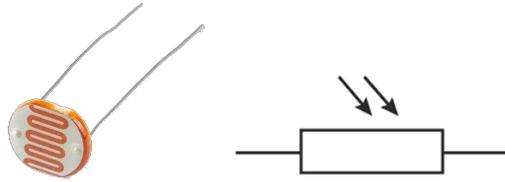


FIGURE 1.14 – Image et symbole d'une photorésistance

Une photorésistance, en anglais LDR (Light Dependent Resistor), est un dipôle qui reçoit un flux lumineux et alors sa résistance diminue en fonction de ce flux. La loi suivante détermine la variation de la résistance :

$$R = R_0 \cdot L^{-k}$$

Avec :

- **R** : résistance aux bornes de la photorésistance [Ω]
- **R₀** : résistance nominale [Ω]
- **L** : intensité lumineuse [Lux]
- **k** : coefficient propre à la photorésistance

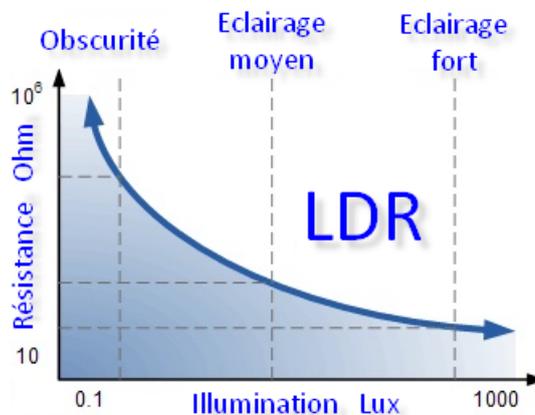


FIGURE 1.15 – Caractéristique lumière/tension d'une photorésistance [5]

1.6.5.2 Capteurs potentiométriques

Pour mesurer la position (ou position angulaire) d'un objet, c'est suffisant de le relier mécaniquement au curseur de potentiomètre. [1]



FIGURE 1.16 – Un potentiomètre

Une tension continue U_e est appliquée entre les bornes A et B du potentiomètre. Ainsi la tension de sortie U_s est proportionnelle à la position x du curseur :

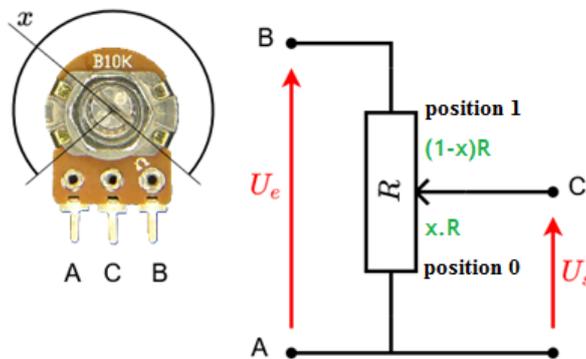


FIGURE 1.17 – Position de curseur d'un potentiomètre

On applique le diviseur de tension :

$$U_s = \frac{xR}{xR + (1-x)R} \times U_e = x \times U_e$$

1.6.5.3 Capteurs à jauges d'extensométrie

Principe physique :

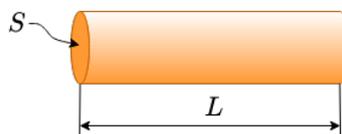


FIGURE 1.18 – Un conducteur

On donne la résistance d'un conducteur électrique par la relation :

$$R = \rho \frac{L}{S}$$

Avec :

- ρ : résistance du matériau [Ωm]
- L : longueur du conducteur [m]
- S : surface de la section du conducteur [m^2]

La déformation du conducteur (jauge) modifie la longueur qui provoque une variation de la résistance R . La relation générale des jauges est $\frac{\Delta R}{R_0} = k \times \frac{\Delta l}{l}$ où k est le facteur de jauge. [1]

Fonctionnement d'une jauge simple :

Les extensomètres se présentent sous la forme de fils très fins repliés sur une fine couche d'isolant électrique et fixés sur des pièces métalliques déformées (très petites !). Sous l'effort, la jauge va se dilater ou se contracter, modifiant la longueur du fil et donc sa résistance R .

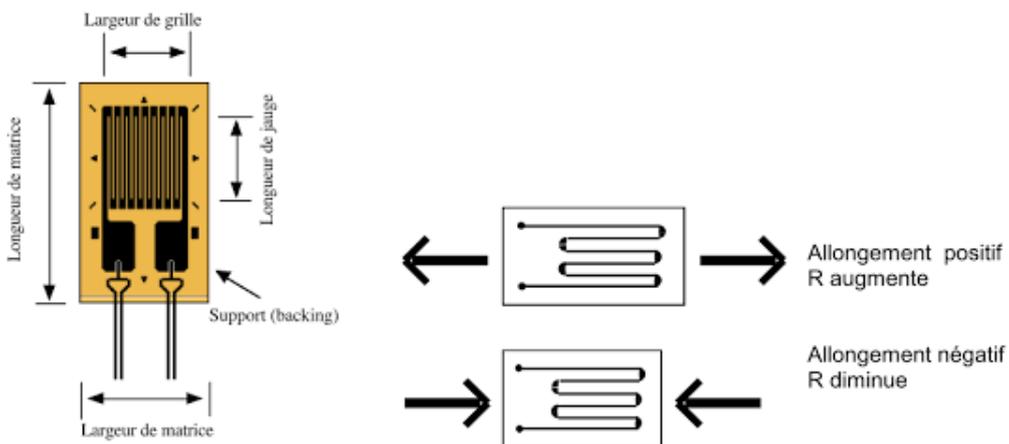


FIGURE 1.19 – Principe d'une jauge d'extensométrie [6]

Ce très petit changement de résistance est converti en tension par un pont de Wheatstone, qui est ensuite amplifié par un amplificateur opérationnel.

Conditionneur de signal (pont de Wheatstone) :

La jauge est un élément purement résistif qui doit être associé au circuit pour obtenir une image de tension déformée. Le circuit utilisé est appelé "pont de Wheatstone". Il se compose d'un générateur de tension et de quatre résistances, dont l'une est une jauge, comme illustré ci-dessous :

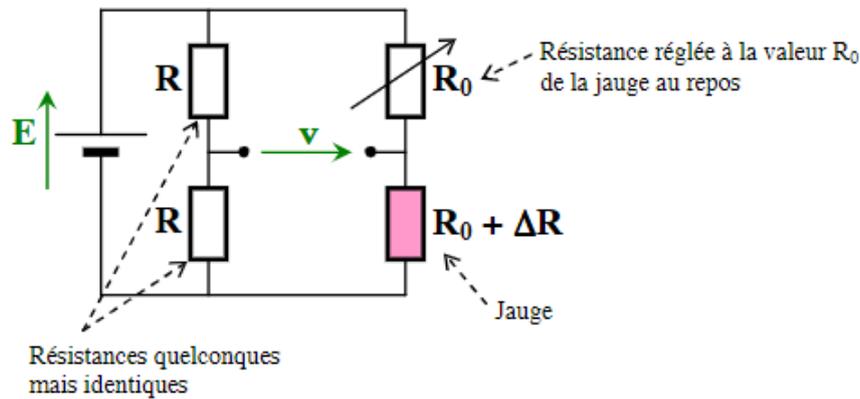


FIGURE 1.20 – 1/4 pont de Wheatstone [4]

La tension de sortie V du pont est comme le suit :

$$\begin{cases} V = E \left[\frac{\Delta R}{2(2R_0 + \Delta R)} \right] \\ \Delta R \ll R_0 \end{cases} \quad \Longrightarrow \quad V = E \frac{\Delta R}{4R_0}$$



On peut améliorer la sensibilité et la linéarité du dispositif en utilisant un pont à 2 résistances et 2 jauges symétriques $R_0 + \Delta R$ et $R_0 - \Delta R$. Il est même possible d'utiliser un pont à 4 jauges symétriques pour avoir une meilleur linéarité.

1.6.5.4 Thermistance

Une thermistance est un dipôle électrique dont sa résistance électrique varie en fonction de la température. [1]

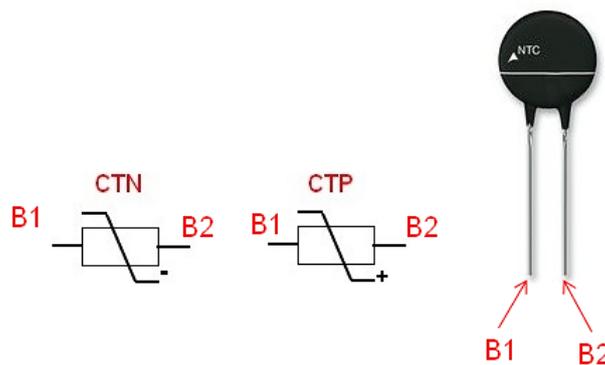


FIGURE 1.21 – Symboles pour une thermistance [7]

Il existe deux types de thermistances :

- Les thermistances CTN (Coefficient de Température Négatif, en anglais NTC) sont des résistances électriques dont leur valeur ohmique diminue au fur et à mesure de la température.
- Les thermistances PTC (Coefficient de Température Positif, en anglais PTC) sont des résistances électriques dont leur valeur ohmique augmente avec la température

dans une plage de température limitée (généralement entre 0°C et 100°C), mais diminue en dehors de cette plage. [8]

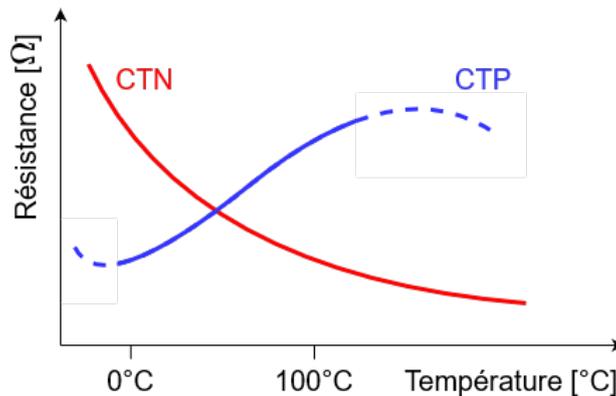


FIGURE 1.22 – Résistance en fonction de la température pour les deux types de thermistance

La relation entre la résistance et la température se présente ainsi :

$$R_{\theta} = R_0(1 + a\theta)$$

Avec :

- R_{θ} : résistance à la température θ
- R_0 : résistance à 0 °C
- a : coefficient de température
 - ✓ $a > 0$ pour une thermistance CTP
 - ✓ $a < 0$ pour une thermistance CTN

Utilisation :

Le thermistor est inséré dans un pont divisant la tension ou un pont Wheatstone. Par conséquent, la tension de sortie U du pont sera $U = k(\theta - \theta_0)$.

Il est également possible de faire fonctionner la thermistor à l'aide d'un générateur de courant. Ainsi, la tension à ces bornes sera proportionnée à la résistance. [1]

1.6.6 Capteurs à sortie numérique directe

Un certain nombre de détecteurs qui intègrent une chaîne d'acquisition complète en un seul circuit.

Par exemple : des capteurs DALLAS, DS1621 ou DS1820 ou DHT22

Ce sont des détecteurs de température à sortie numérique directe en série, qui fournissent des informations numériques directes pouvant être utilisées par le contrôleur. [1]



FIGURE 1.23 – DS1820 et DHT22

1.6.7 Détecteurs de proximité

1.6.7.1 Détection inductive

Les détecteurs inductifs ou détecteurs de proximité inductifs utilisent un principe physique qui signifie qu'ils peuvent fonctionner pour la détection d'objets contenant du fer. Associé à la proximité capacitive détectrice et photocellule, ils sont l'un des composants fondamentaux utilisés dans l'automatisation industrielle.

Ils sont également sans contact, c'est-à-dire qu'ils n'entrent pas en contact avec les objets qu'ils détectent. De cette façon, il n'y a pas d'usure mécanique. Cela signifie que de tels capteurs ont une longue durée de vie et nécessitent peu d'entretien. [9]

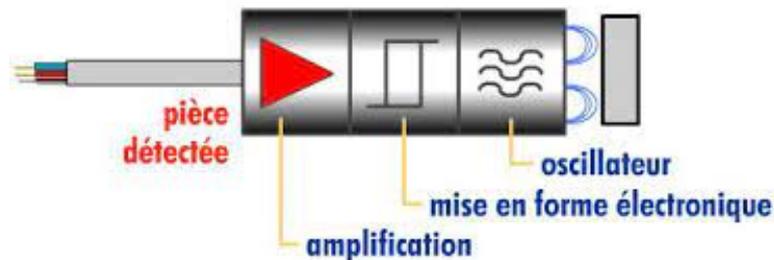


FIGURE 1.24 – Composition du détecteur de proximité inductif [10]

Les détecteurs inductifs comportent, en principe, une bobine dont le fil est enroulé autour d'un noyau de fer. La bobine est connectée à un condensateur et ensemble ces deux forment un oscillateur. Cet oscillateur établit un champ électromagnétique alternatif haut fréquence (généralement 100 kHz à 1 MHz) dans le noyau et à proximité de la surface du détecteur. Lorsqu'une extrémité de l'âme s'approche d'un objet métallique, la résistance totale (la réluctance) diminue car elle est beaucoup plus faible pour le fer que pour l'air. Ce changement entraîne à son tour une augmentation du courant dans les circuits du détecteur, qui active un interrupteur électronique. [9]

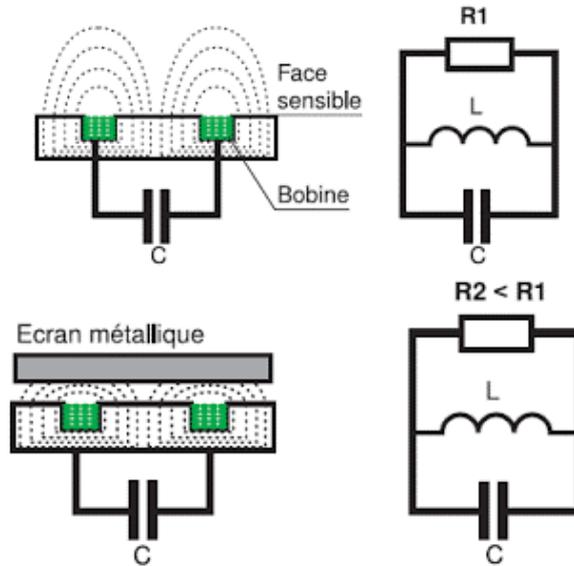


FIGURE 1.25 – Principe de détecteur inductif



FIGURE 1.26 – Détecteurs inductifs

1.6.7.2 Détection capacitive

Les détecteurs capacitifs détectent tous types de matériaux soit conducteurs ou isolants (plastique, métal, verre, huile, bois...) sans aucun contact.

Le principe de la détection capacitive est basé sur un circuit oscillant RC. Un détecteur capacitif mesure la variation de capacité due à la proximité d'un objet du champ électrique d'un condensateur.

Une tension sinusoïdale est appliquée sur la face sensible du détecteur qui représente l'armature du condensateur, ce qui crée un champ électrique alternatif devant le détecteur. La deuxième armature est formée d'une électrode reliée à la masse. Ces deux électrodes situés face à face forment un condensateur ayant une capacité de : [1]

$$C = \frac{\epsilon_0 * \epsilon_r * A}{d}$$

Avec :

- ϵ_0 : permittivité du vide = $8,854.10^{-12}$
- ϵ_r : permittivité relative du matériau présent entre les 2 électrodes
- A : dimensions des électrodes
- d : distances entre les électrodes

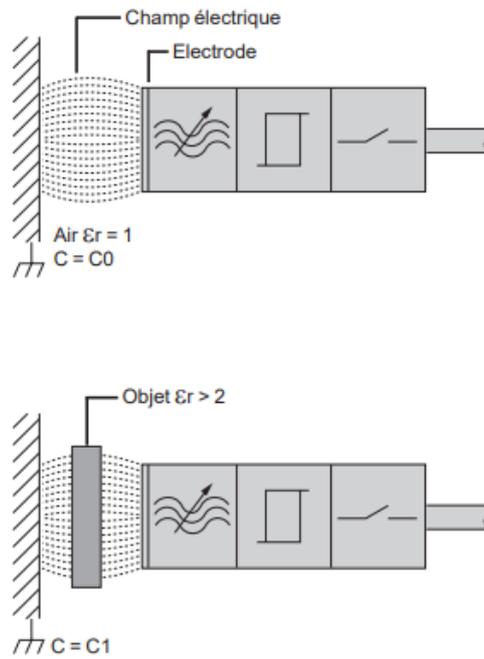


FIGURE 1.27 – Principe d'un détecteur capacitif [11]

Chapitre 2

Les composants utiles

2.1 Préface

Dans tous nos appareils électroniques de quotidien on trouve de nombreux composants, un composant électronique est un élément qui une fois assemble dans un circuit électronique permet de réaliser une fonction bien déterminer cette fonction est la raison pour laquelle il est utilisé.

Un ensemble des composants connecte les uns aux autres de manière précise nous donne un circuit électronique adapte à l'exécution d'une fonction spécifique.

Un premier regard sur le schéma de notre PFE (figure) a révélé la présence des composants suivant :

- Passifs (résistances - condensateurs - diodes ... etc)
- Actifs (BC547 NPN)
- Circuit intégré (LM324 - CD4093 - LM7812 - UGN3503).

Comme son nom l'indique, un circuit intégré est un composant électronique capable de reproduire une ou plusieurs fonctions plus ou moins complexes, il intègre souvent plusieurs composants de base dans un espace réduit pour rendre le circuit facile à mettre en œuvre.

Ces composant (ICs), se devise en deux grand catégorie analogique (amplificateurs opérationnelles ... etc) et numérique (portes logique, microprocesseur ... etc)

Appelé aussi la pousse, le circuit intégré est très bon pour ces caractéristiques géométriques, il est fabrique d'habitude en silicium, chaque IC est identifié par un numéro (4093) qui correspond à une fonction particulière (NAND ... etc) et une technologie spécifique (CMOS ou TTL).

2.2 Capteur inductif à effet HALL UGN3503



FIGURE 2.1 – Capteur UGN3503

Un capteur à effet Hall est un capteur qui réagit à un champ magnétique. Lorsque ce capteur est placé dans un champ magnétique, les électrons qui le traversent se déplacent d'un côté du capteur. Le capteur aura alors un côté positif et l'autre négatif et créera une tension, appelée tension de Hall. [12]

L'UGN3503 est un circuit intégré composé d'un bloc de matériau semi-conducteur à travers lequel le courant circule, avec des connexions des deux côtés pour détecter les différences de potentiel. Il est relié à un amplificateur linéaire interne dont l'étage de sortie

est un transistor émetteur-suiveur. Le composant est logé dans un boîtier à trois broches avec l'élément capteur placé très près de l'amplificateur pour minimiser les erreurs. [13]

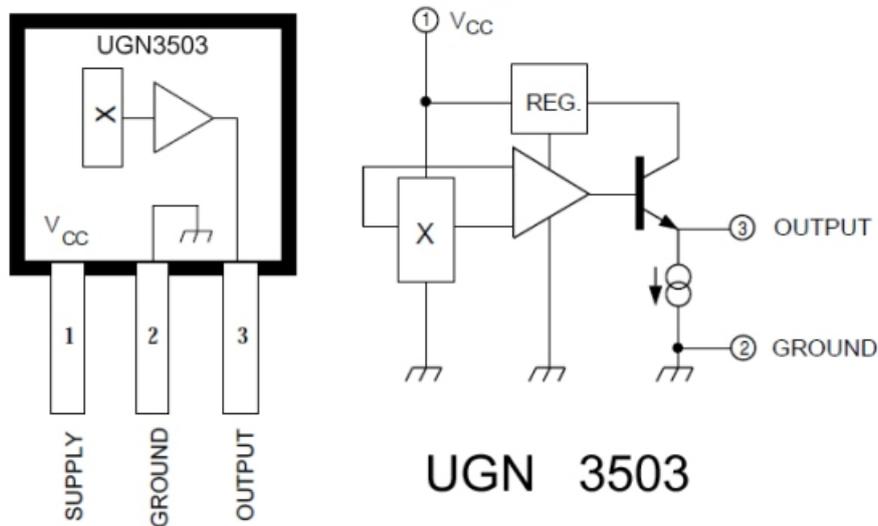


FIGURE 2.2 – Brochage et schéma interne du capteur UGN3503 [13]

Il s'agit d'un appareil unipolaire fonctionnant à 5V. Sans champ magnétique appliqué, la sortie est d'environ la moitié de la tension d'alimentation (2,5V). En fonctionnement, les niveaux de tension de sortie instantanés et proportionnels dépendent de la densité de flux magnétique dans la zone la plus sensible de l'appareil.

Notez que lorsque :

- On applique un champ magnétique de polarité sud (+B) perpendiculaire à la face marquée (visage) de l'UGN3503 augmente sa sortie.
- On applique un champ magnétique de polarité nord (-B) perpendiculaire à la face marquée (visage) de l'UGN3503 diminue sa sortie. [14]

2.3 Le CMOS CD4093B

Le CD4093 est un circuit intégré numérique de la famille CMOS formé de quatre portes NAND à 2 entrées, toutes les entrées étant équipées de la fonction Schmitt-trigger. Principalement disponible en boîtiers DIP et SOP à 14 broches disposées en deux rangées de 7.

2.3.1 Caractéristiques et spécifications

- Tension d'alimentation recommandée : 3V à 18V
- Tension d'entrée recommandée : 0V pour le "0" logique et VDD pour le "1" logique
- Courant d'entrée maximum : 1uA à VDD de 18V
- Immunité au bruit supérieure à 50
- Plage de température entre -55 °C et 125 °C
- Encapsulation : DIL-14, SOP-14

- Fabriqué par Texas Instruments, Fairchild Semiconductor et National Semiconductor, Philips et autres.

2.3.2 Brochage

Les broches A (1, 5, 8, 12) sont les entrées A des quatre portes NAND du CI.

Les broches B (2, 6, 9, 13) sont les entrées B des quatre portes NAND du CI.

Les broches Q (3, 4, 10, 11) sont les sorties des portes NAND.

Le circuit est alimenté par la broche 14, la broche 7 est liée à la masse.

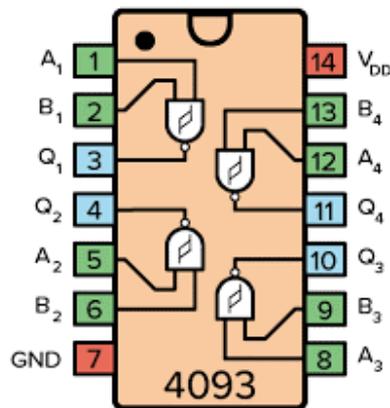


FIGURE 2.3 – Brochage de CMOS CD4093B [15]

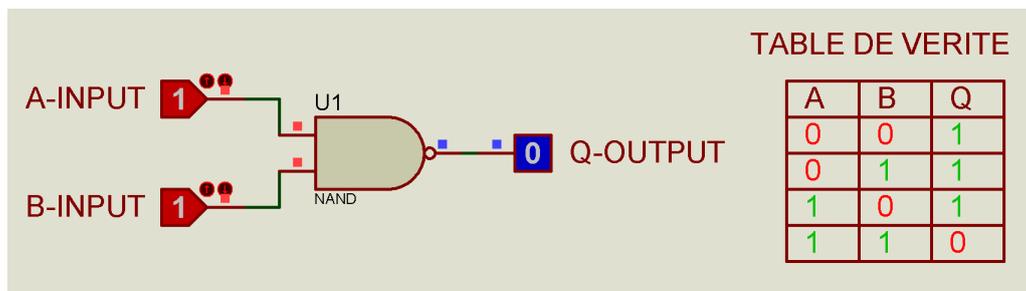


FIGURE 2.4 – Schéma synoptique d'une porte logique NAND

2.3.3 Fonctionnement

Le Schmitt Trigger est un montage également appelé seuil à bascule. De fait, deux seuils sont créés entre les niveaux logiques "0" et "1" :

- Le niveau d'enclenchement (seuil HAUT) notée par V_p
- Le niveau de déclenchement (seuil BAS) notée par V_n

Ainsi, la sortie du circuit bascule à "1" logique lorsque le signal d'entrée atteint le seuil haut V_p , et passe à "0" logique lorsque le signal dépasse le seuil bas V_n .

La différence de tension entre les deux seuils s'appelle tension d'hystérésis V_H , qui garantit l'immunité au bruit des circuits à bascule de Schmitt. Elle est de l'ordre de 0,9 V si l'alimentation est de 5 V et 2,3 V si l'alimentation atteint 10 V. [16, 17]

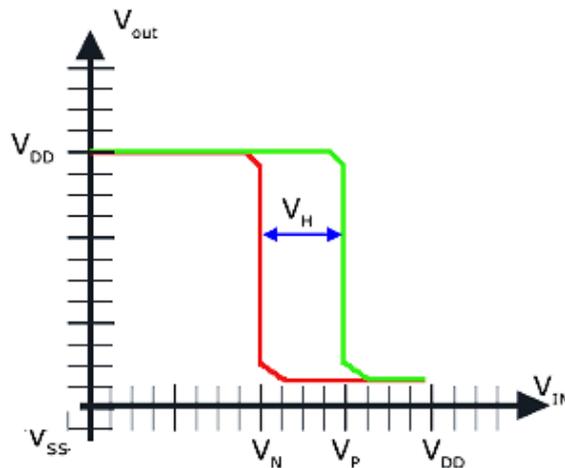


FIGURE 2.5 – Cycle d'hystérésis du trigger [17]

En résumé, le CD4093 agit comme un inverseur. Il nous permet de multiplier deux signaux numériques (bas ou haut), est en même temps il réalise l'inversion, c'est comme la porte NAND en TTL. Cela garantit ainsi un signal rectangulaire clair avec des fronts verticaux en présence d'une tension d'entrée variable.

2.4 Le relais électromécanique

Un relais est un interrupteur dont la tension continue ou alternative qui le commande est de faible puissance. La partie "interrupteur" sert à contrôler les charges de secteur à haute puissance (plusieurs dizaines d'ampères). [18]

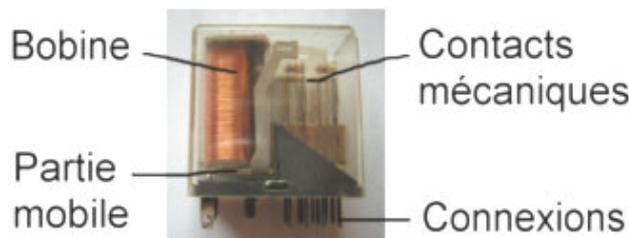


FIGURE 2.6 – Composition d'un relais [19]

2.4.1 Constitution

Un relais consiste principalement en un électroaimant qui, une fois mis sous tension, transmet une force à un système de commutation électrique : les contacts

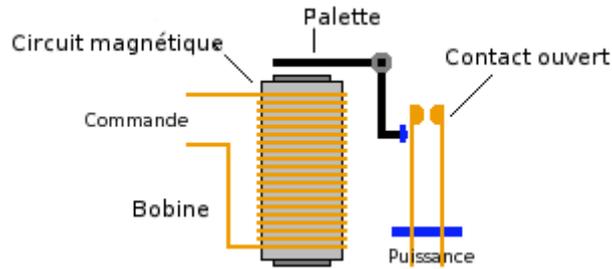


FIGURE 2.7 – Construction de relais

L'électroaimant (la bobine), suivant les spécifications et besoins, peut être alimenté en TBT « Très Basse Tension » moins de 12V, 24V, 48V continu ou alternatif ou en BT (Basse Tension) 220V, 400V alternatif.

Le système de commutation peut comprendre un ou plusieurs commutateurs à effet unique appelés contacts, normalement ouverts (NO) ou normalement fermés (NF ou NC). Ces commutateurs conviennent aux courants et à la plage de tension transmis à la partie d'alimentation. La lettre R signifiant repos et T travail.

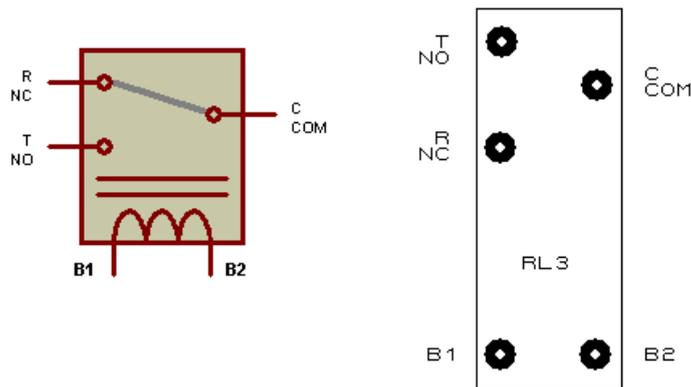


FIGURE 2.8 – Symboles de relais [19]

2.4.2 Fonctionnement

Le relais peut être monostable ou bistable :

- **Fonctionnement monostable :**

Les contacts basculent lorsque la bobine est alimentée et le retour à l'état initial est fait lorsque la bobine n'est plus alimentée (généralement en utilisant un ressort). Il s'agit du relais le plus courant.

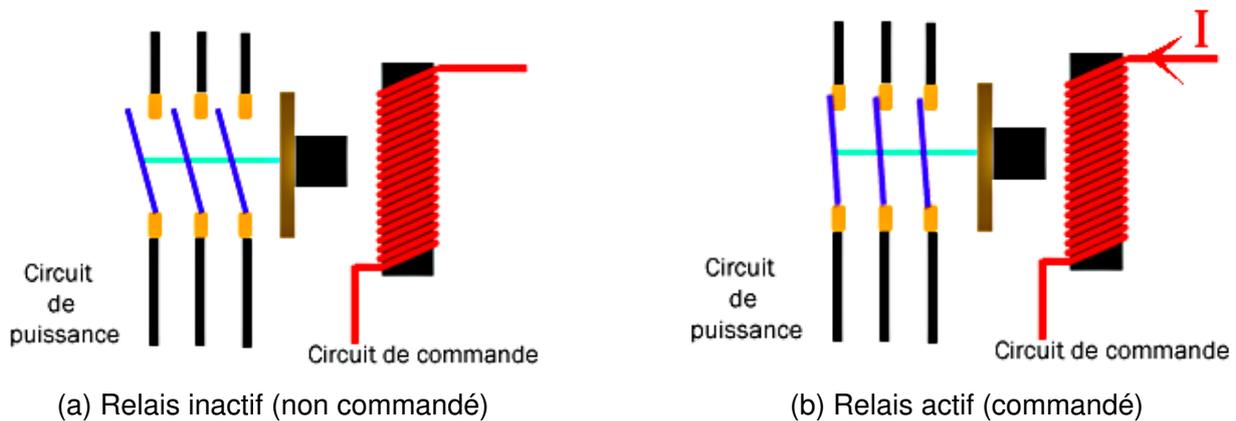


FIGURE 2.9 – Fonctionnement monostable de relais

• **Fonctionnement bistable à une bobine :**

La bobine est alimentée afin que les contacts passent : l'état ne change pas lorsque la bobine n'est plus alimentée, un système mécanique bloque le retour. Pour revenir à l'état initial, la bobine est à nouveau alimentée pour déverrouiller le mécanisme, dans certains cas en inversant la polarité de l'alimentation (dans le bâtiment, ce type de relais est appelé "télérupteur")

• **Fonctionnement bistable à deux bobines :**

On alimente la première bobine afin que les contacts basculent : l'état ne change pas lorsque la bobine n'est plus excitée. Pour rétablir l'état d'origine, la seconde bobine est alimentée. Lorsqu'un courant passe à travers la bobine (circuit de contrôle), il crée un champ magnétique qui ferme les contacts (circuit d'alimentation). Lorsqu'on coupe l'alimentation, un ressort ouvre les contacts.

2.4.3 Désavantages du relais électro-mécanique

- Cela peut être assez bruyant
- Il a une durée de vie limitée du fait de l'usure des pièces mobiles. Lorsque nous avons à commander un élément très souvent nous utilisons des composants plutôt électroniques (relais statiques, transistors, ...) [18]

2.5 Amplificateur opérationnel LM324

Le circuit intégré LM324 est un amplificateur opérationnel qui peut être utilisé comme comparateur. Ce circuit intégré dispose de 4 amplificateurs opérationnels indépendants sur une seule puce. Il s'agit d'un amplificateur opérationnel quad basse consommation doté d'une bande passante à haute stabilité conçue pour fonctionner à partir d'une seule alimentation sur une large gamme de tensions. [20]

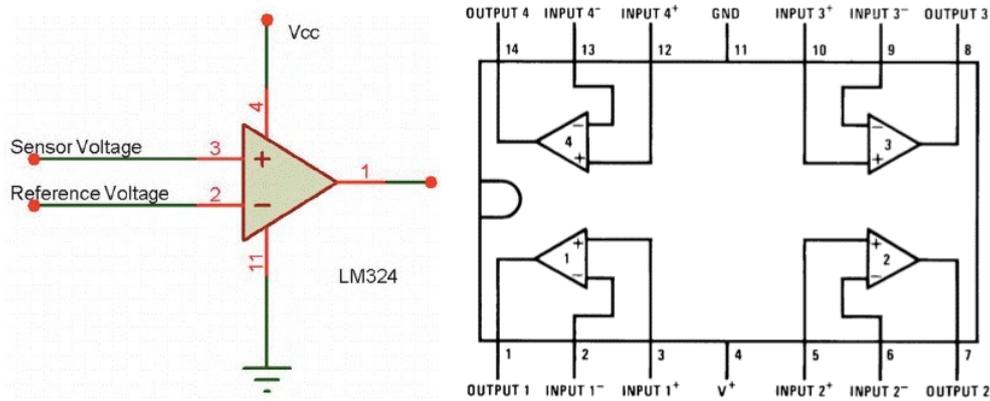


FIGURE 2.10 – Brochage du LM324

Le schéma de figure II-10 montre la configuration des broches du circuit comparateur LM324. Il se compose de 14 broches et la fonction de chaque broche est décrite ci-dessous.

- la broche 1 Sortie du premier comparateur
- la broche 2 Entrée inverseuse du premier comparateur
- la broche 3 Entrée non inverseuse du premier comparateur
- la broche 4 Tension d'alimentation 5V
- la broche 5 Entrée non inverseuse du deuxième comparateur
- la broche 6 Entrée inverseuse du deuxième comparateur
- la broche 7 Sortie du deuxième comparateur
- la broche 8 Sortie du troisième comparateur
- la broche 9 Entrée inverseuse du troisième comparateur
- la broche 10 Entrée inverseuse du troisième comparateur
- la broche 11 Ground
- la broche 12 Entrée non inverseuse du quatrième comparateur
- la broche 13 Entrée inverseuse du quatrième comparateur
- la broche 14 Sortie du quatrième comparateur [20]

Le circuit suivant montre le brochage électrique du Im324 en comparateur de tension, lié aux deux résistances de 10 K Ω qui sont utilisées pour définir la référence de tension afin de produire la meilleure sortie.

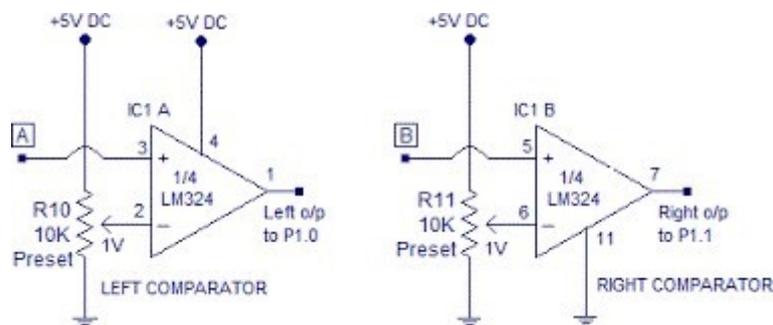


FIGURE 2.11 – LM324 en comparateur de tension [21]

2.5.1 Fonctionnement du comparateur LM324

Lorsque la tension d'entrée de la borne non inverseuse de l'amplificateur opérationnel, soit inférieure à la tension d'entrée de la borne inverseuse, la sortie de cet ampli devient

nulle. Si la tension non inverseuse est supérieure à la tension inverseuse, la sortie sera élevée.

Les avantages du lm324 sont : gain de tension élevé de 324 dB, large bande passante de 100 MHz, large plage d'alimentation de 1V à 3V (indépendante de la tension d'alimentation), plage de tension d'entrée différentielle égale à la tension d'alimentation, large plage de variation de tension de sortie 0V à 32V, LM324 Utilisé comme comparateur et amplificateur opérationnel.

2.5.2 Caractéristiques

Type de circuit intégré : amplificateur opérationnel quadruple à usage général

- Nombre de circuit : 4
- Vitesse de balayage : 0,5 V/ μ s
- Gain de bande passante : 1,2 MHz
- Courant - Biais d'entrée : 20 nA
- Tension - Décalage d'entrée : 3 000 μ V
- Alimentation en courant : 1,4 mA
- Courant - Canal de sortie : 60 mA
- Tension - Alimentation, simple/double : 3 V 32 V, \pm 1,5 V 16 V
- Emballage : DIP-14 (espacement des broches de 0,1" \times 0,3")
- Sans plomb (conforme RoHS)
- Fabricant : Texas Instruments [21]

2.6 Régulateur de tension LM 7812

Il s'agit d'un régulateur de tension de la série LM78xx, un régulateur positif à trois bornes avec une tension de sortie fixe de 12V.

Le LM 7812 fournit une régulation locale, une limitation de courant interne, un contrôle d'arrêt thermique et une protection de zone sûre. Ce régulateur de tension peut produire un courant maximum de 1,5A. [22]



FIGURE 2.12 – Régulateur LM7812

2.6.1 Régulateurs fixes

Un régulateur de tension fixe est conçu pour fournir une tension continue d'une valeur donnée. Il existe plusieurs types (linéaire série, linéaire shunt, commutation), mais les plus courants sont les séries de régulateurs linéaires LM78xx (ou uA78xx) et LM79xx (ou

uA79xx). Ils sont faciles à mettre en œuvre et il suffit d'un peu de connaissances pour savoir lequel utiliser. Pour en savoir plus, décomposons les noms de ces régulateurs typiques : **LM** = préfixe utilisé par le fabricant. Il peut également s'agir de uA ou MC (LM7812, MC7812, uA7812). Parfois sans préfixe, mais avec une lettre au milieu, comme 78M12 ou 78L12). **78** = indique qu'il s'agit d'un régulateur positif. **79** = indique qu'il s'agit d'un régulateur négatif. **xx** = tension de sortie fixe (valeur entière sur deux chiffres, par exemple 05 pour 5 V). [23]

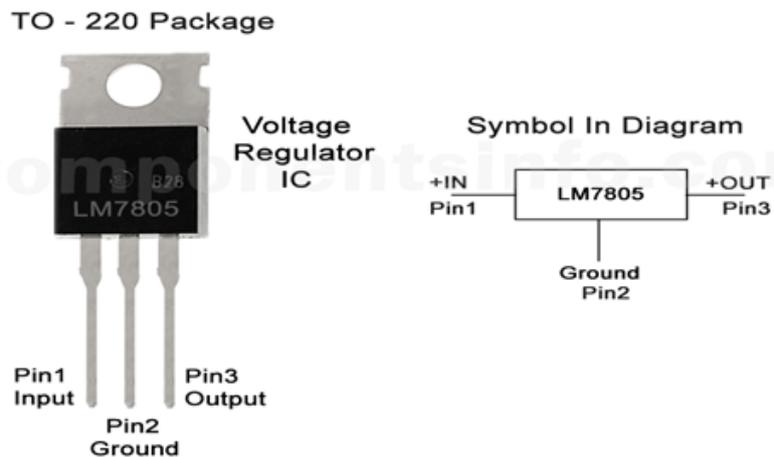


FIGURE 2.13 – Brochage LM7805

Valeurs de tensions courantes disponibles : 5 V, 6 V, 9 V, 10 V, 12 V, 15 V, 18 V, 24 V, le plus éprouvés sont les régulateurs marqués LM7812 et uA7915.

2.6.2 Type de boîtier des régulateurs de tension

Les types de boîtiers varient du TO 92 pour les faibles courants de sortie au TO 03 pour les forts courants. La puissance de sortie est :

- 0,1A pour les boîtiers TO 92.
- 1A pour les boîtiers TO 220.
- 3 à 5A pour les boîtiers TO 03.

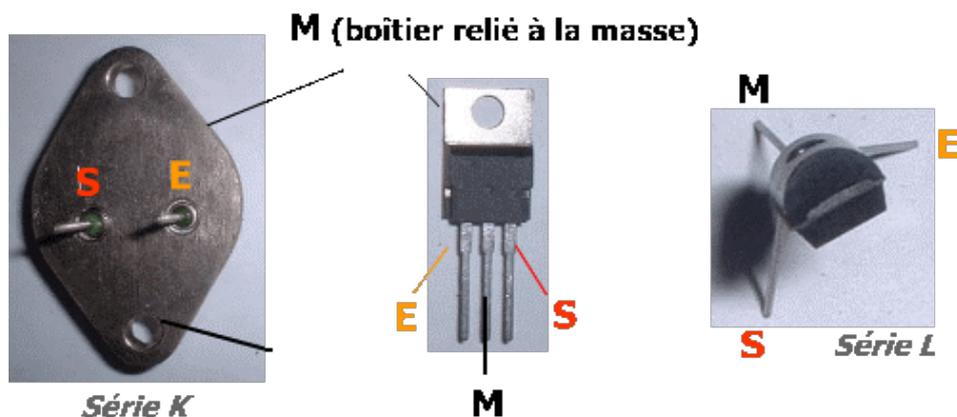


FIGURE 2.14 – TO 03 (à gauche), TO 220 (centre), TO 92 (à droite) [24]

2.7 Noyau de ferrite

Les noyaux en ferrite sont utilisés pour la réalisation d'enroulements à haute fréquence. Il s'agit d'une céramique composée d'oxydes de fer (Fe_2O_3) et d'autres oxydes ou carbonates de nickel, de zinc, de plomb ou de manganèse.

La ferrite existe aussi sous la forme de filtres à fixer aux câbles d'alimentation ou vidéo pour la protection EMI. [25]



FIGURE 2.15 – Noyau de ferrite type E et 8

2.7.1 Applications

Les noyaux de ferrite permettent la création de selfs de filtration et de transformateurs haute fréquence. Sont utilisés dans les alimentations à découpage, pour concevoir des transformateurs à large bande en radio communication, pour la protection EMI sous forme de "selfs de choc" et dans les opérations ultrasoniques. [25]

2.7.2 Critères de choix

La forme et la nature du matériau dépendent de l'effet désiré. Il n'est pas nécessaire de sous-dimensionner le noyau de ferrite qui peut être saturé et ne remplit pas alors la fonction attendue. [25]

2.8 Transformateur

Un transformateur électrique est un convertisseur, qui permet de modifier les valeurs de potentiel électrique et de l'intensité du courant délivrées par une source d'énergie électrique alternative en un système de potentiel électrique et de courant de valeurs différentes, mais de même fréquence et de même forme. Il réalise ce changement avec une excellente performance. C'est l'équivalent d'un engrenage mécanique. [26]

Un transformateur peut augmenter ou diminuer la tension alternative selon le besoin de l'utilisation.

2.8.1 Constitution

Le transformateur est constitué de deux enroulements, électriquement indépendants qui lient un circuit magnétique commun.

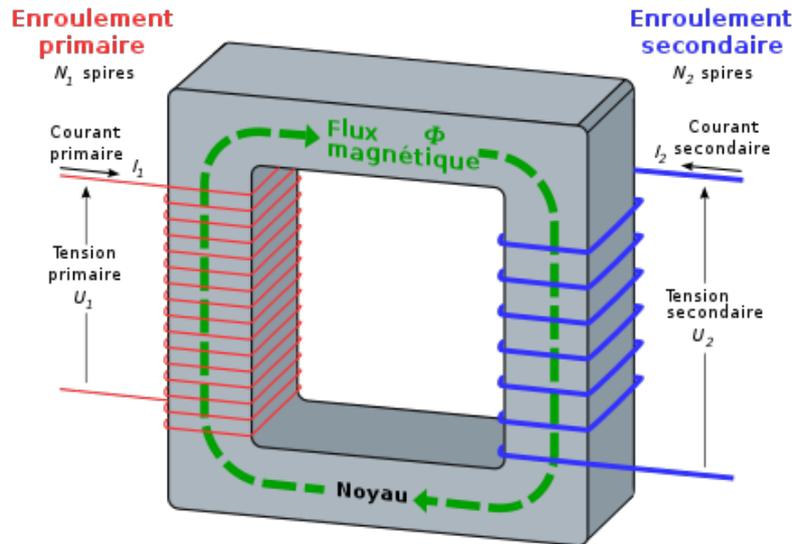


FIGURE 2.16 – Présentation d'un transformateur monophasé idéal [27]

La représentation schématique met en évidence le nombre de spires N_1 et N_2 dans deux bobines.

L'enroulement primaire est alimenté par une source de tension alternative sinusoïdale v_1 (le plus souvent le réseau EDF).

L'enroulement secondaire alimente la charge électrique. Si $v_1 > v_2$, le transformateur est appelé "abaisseur de tension". Si $v_1 < v_2$, le transformateur est appelé "élévateur de tension". Si $v_1 = v_2$, le transformateur est appelé "transformateur d'isolement" [28]



Un transformateur ne fonctionne pas avec une tension continue.

2.8.2 Caractéristiques du transformateur parfait

Noté m , il désigne le rapport entre la tension du primaire et la tension du secondaire.

$$m = \frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{I_1}{I_2}$$

Avec :

- U_1 et U_2 sont la tension de primaire et la tension du secondaire, respectivement
- N_1 et N_2 sont le nombre de spires du primaire et le nombre de spires du secondaire, respectivement
- I_1 et I_2 sont le courant du primaire et le courant du secondaire, respectivement.

La puissance apparente :

$$P = U_1 \times I_1 = U_2 \times I_2$$

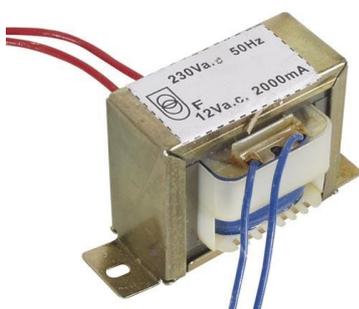
Il s'agit de la puissance que le transformateur est capable de transmettre à une charge et elle est exprimée en Voltampère (VA). [28]

2.8.3 Principe de fonctionnement d'un transformateur

Le courant AC qui traverse l'enroulement primaire génère un flux magnétique variable dans le cœur. Cette variation d'écoulement induit un autre courant dans le secondaire ou, si le circuit secondaire n'est pas connecté au récepteur, induit une tension dans celui-ci.

On parle de transformateur **à vide** lorsque le circuit secondaire est ouvert. Il dévisse ensuite aucun courant. L'enroulement primaire se comporte ici comme une self en courant alternatif, une inductance simple qui s'oppose au passage du courant.

Le transformateur est dit **en charge** lorsqu'un récepteur est connecté à sa sortie. Le courant délivré par le secondaire crée alors un champ magnétique opposé au champ produit par le primaire. Il s'ensuit une augmentation du courant dans le primaire et en fin de compte il y a une égalité quasi parfaite entre la puissance que génère le secondaire et la puissance consommée par l'enroulement primaire. [29]



(a) Transformateur à étrier



(b) Transformateur moulé pour PCB



(c) Transformateur torique

FIGURE 2.17 – Quelques types de transformateurs

2.9 Le fusible

Un fusible, aussi appelé coupe-circuit à fusible, est un dispositif de sécurité qui coupe le courant électrique en cas de court-circuit ou de surcharge. Fusion signifie enclin à fondre.

2.9.1 Principe de fonctionnement d'un fusible

En effet, le disjoncteur fusible est inséré dans le porte-fusible, qui est un petit composant isolant contenant un fil conducteur en argent, aluminium, zinc ou étain, qui fond lorsqu'un courant de plus gros calibre le traverse. (courant dans une certaine période). Dans ce cas, le circuit électrique s'ouvre et n'est pas endommagé par une surintensité prolongée qui pourrait entraîner sa destruction voire un incendie. [30]



FIGURE 2.18 – Représentation d'un porte fusible verre encastrable

2.10 Potentiomètre

Le potentiomètre ajustable à résistance variable, pré-réglé vertical PCB 10k, est une résistance variable à trois bornes qui est utilisée pour faire varier ou changer la résistance. Il est utilisé pour modifier les différents paramètres dans un circuit électronique, tels que la tension, le courant, etc.

C'est un composant électronique passif qui a deux bornes d'extrémité avec un élément résistif et le contact glissant appelé essuie-glace agit comme la troisième borne. [31]



FIGURE 2.19 – Présentation d'un potentiomètre

2.10.1 Spécification

- Valeur : 10k ohms
- Type de réglage : Tour unique
- Tolérance : 30
- Type : Potentiomètre pré-réglé - Trimpot
- Tension de fonctionnement maximale : 50 V CC
- Durée de vie en rotation : 20 Cycles

2.11 Transistor BC547 (NPN)

Puisque le transistor BC547 est un transistor NPN, le collecteur et l'émetteur restent ouverts (polarisés en inverse) lorsque la broche de base est mise à la masse, et fermés (polarisés en direct) lorsqu'un signal est appliqué à la broche de base.

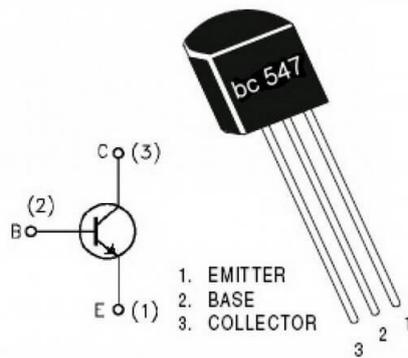


FIGURE 2.20 – Schéma représentatif de brochage du transistor BC547 [32]

2.11.1 Caractéristiques du transistor BC547

- Transistor bipolaire NPN
- Gain de courant continu (h_{fe}) jusqu'à 800
- Courant de collecteur DC (I_C) de 100mA
- La tension de référence de l'émetteur (V_{BE}) est de 6 V
- Courant de base (I_B) 5 mA max
- Disponible en package To-92

2.11.2 Fonctionnement du transistor BC547

BC547 a deux statuts de fonctionnement : polarisation directe et polarisation inverse.

Dans l'état de la polarisation directe, le courant peut passer lorsque le collecteur et l'émetteur sont connectés.

Lorsqu'il est dans l'état de polarisation inverse, il agit comme un interrupteur de déconnexion et le courant est bloqué. [33]

2.12 Conclusion

En conclusion, les composants électroniques sont des éléments fondamentaux de la conception de circuits électroniques. Ils permettent de réaliser différentes fonctions, telles que la commutation de signaux, l'amplification, la régulation de tension, la détection de signaux, la protection contre les surintensités et bien d'autres encore. En somme, la connaissance des différents composants électroniques et de leurs fonctions est essentielle pour la conception de circuits électriques fonctionnels et fiables.

Chapitre 3

Étude et réalisation d'un auto-switch

3.1 Introduction

Aujourd'hui, la technologie IR (infra-rouge) a rendu la vie quotidienne, plus pratique et simple pour gérer des appareils à distance, par un simple bouton. Ces appareils (TV, chaîne Hi-Fi, etc.) ne s'éteignent pas vraiment; il reste en mode "veille" (Stand-by) où la LED témoin reste allumée.

En mode veille, le téléviseur est toujours raccordé au secteur, il consomme de l'énergie; des KWh par mois! ... De plus les composants de l'appareil risquent de surchauffe et par conséquent d'être endommager, ou avoir un court-circuit qui peut provoquer un incendie.

Pour éviter ce danger, on va débrancher la fiche d'alimentation. Cependant, cette solution n'est pas agréable à tout moment et pour cela l'utilisation d'un auto-switch est préférable comme solution optimale.

3.2 Présentation du logiciel de simulation

3.2.1 Présentation de PROTEUS

Proteus est un logiciel combinant ISIS, ARES, PROSPICE et VSM. Tous ces modules sont utilisés en électronique. Grâce à ce logiciel, nous pouvons réaliser des schémas de structure et effectuer des simulations. Ce logiciel, développé par L'absenter Electronics et présent dans Proteus, permet la conception assistée par ordinateur (CAO) dans le domaine de l'électronique. Le logiciel est largement connu et utilisé dans de nombreuses entreprises et institutions de formation, y compris les lycées et les universités. [34]

Proteus possède d'autres avantages :

- Le progiciel avec un support technique facile à comprendre et rapide à utiliser est efficace
- Les outils de prototypage virtuel permettent de réduire les coûts matériels et logiciels lors de la conception de projets

3.2.1.1 Présentation du module ISIS

ISIS (Intelligent Schematic Entry System) est principalement connue pour l'édition de schémas électriques. Il permet également de simuler des schémas réalisés précédemment, nous avons également le contrôle sur la plupart des aspects graphiques du circuit. Ce qui suit est une introduction à l'interface

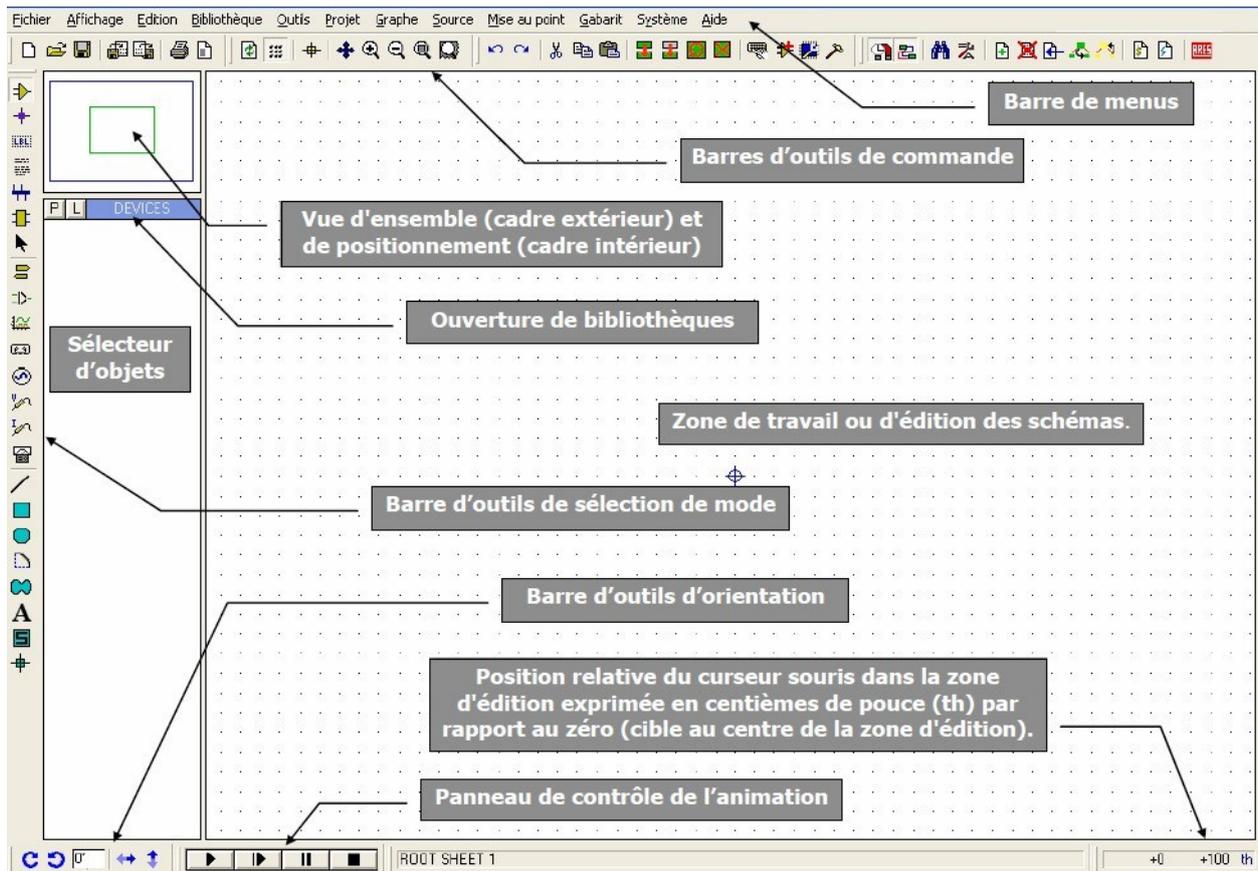


FIGURE 3.1 – L'interface de PROTEUS ISIS [35]

Le module ISIS permet de :

- Entrée schématique : entrée dans le schéma de structure du circuit électronique, c'est-à-dire l'assemblage de composants électroniques à valeurs fixes et valeurs de référence, reliés par des connexions électriques (fils).
- Simulation du comportement : le lancement du simulateur [PRO SPICE] permet de simuler le comportement des composants graphiques. Le simulateur effectue des calculs basés sur un modèle mathématique (modèle SPICE) défini par le concepteur du composant. [36]

3.2.1.2 Présentation du module ARES

Le logiciel ARES est un outil d'édition et de routage qui complète parfaitement ISIS. Les schémas électriques générés dans ISIS peuvent ensuite être facilement importés dans ARES pour créer le PCB (Process Control Block) de la carte électronique. Bien qu'il soit plus efficace d'éditer le PCB manuellement par routage, le logiciel permet le placement et le routage automatiques des composants, ce qui facilite la conception du PCB.

Le module ARES permet de :

- Placer les composants en mode automatique, manuel ou semi-automatique.

- Acheminez les liens sur la couche 16 en mode automatique, manuel ou semi-automatique. Il intègre un algorithme de défilé qui augmente les taux d'achèvement. Des canaux supplémentaires appelés compensation raccourcissent la longueur de connexion et minimisent le nombre de croisements pour améliorer l'esthétique du circuit. Il comprend un générateur de plan d'étage.
- Commencer les connexions électriques (traces) avec des fils fins.
- Imprimez des illustrations. [36]

3.3 Présentation du projet

Le projet consiste à installer un appareil « l'auto switch », entre une charge (ex : téléviseur) et le secteur 220V AC. Cet appareil est composé d'une entrée d'alimentation reliée au secteur et d'une sortie de prise, connectée avec la fiche d'alimentation de la charge à protéger.

Lorsque l'auto-switch détecte que l'on vient d'éteindre l'appareil en employant la télécommande, il le déconnecte d'une façon complète du secteur 220V, ce qui signifie que l'énergie consommé par le téléviseur s'annule et on évite ainsi le danger d'un incendie, résultant de surchauffe des composants ou d'un court-circuit.

La déconnexion se fera par un processus automatique : le circuit contrôle le courant consommé par l'appareil protégé, qui est fortement réduit lorsque l'on passe d'une utilisation normale (en marche) à un mode "stand-by".

Le courant consommé est testé à l'aide d'un d'un noyau de ferrite ou aimant permanent, couplé à un capteur à effet Hall UGN3503 où dès qu'il descend en dessous d'un seuil caractéristique, un relais commute automatiquement et revient au repos, ce qui débranche complètement l'appareil protégé ainsi du réseau électrique local. La connexion au secteur peut ensuite être rétablie lors de la mise sous tension au moyen de la télécommande. Le téléviseur n'est qu'un seul exemple : l'auto-switch peut protéger n'importe quel appareil équipée avec un mode "stand-by". [37]

Le schéma électrique qui décrit cette opération est comme le suit :

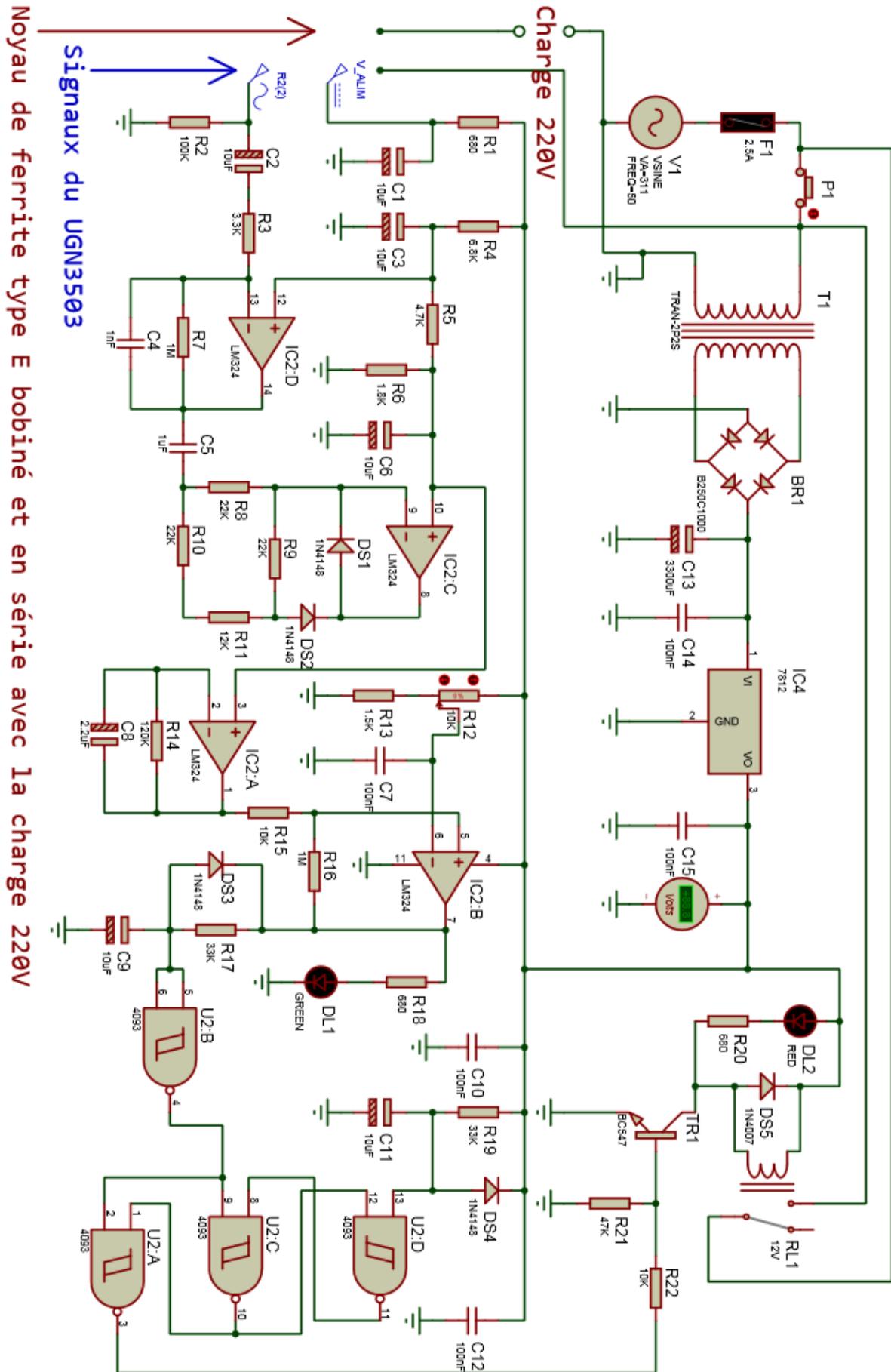


FIGURE 3.2 – Schéma électrique de l'auto-switch complet.

Le circuit électrique de l'auto-switch est composé de cinq blocs principaux :

- Alimentation 220VAC/12VDC.
- Capteur à effet Hall UGN3503.
- Comparateur LM324 avec signalisation à LED vert.
- Porte NAND CD4093.
- Relais 12V avec signalisation à LED rouge.

3.4 Interprétation modulaire des différents blocs électrique

3.4.1 Alimentation 220VAC/12VDC

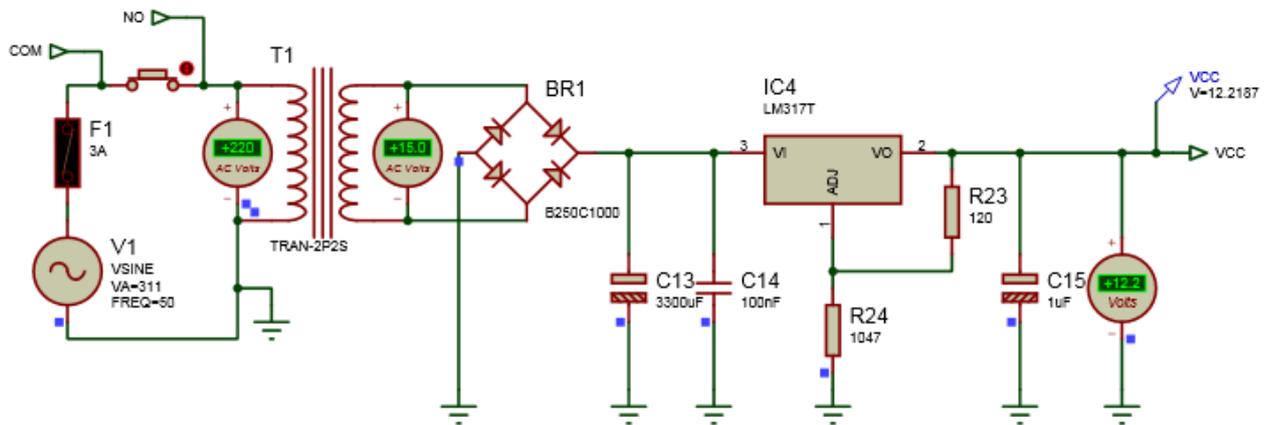


FIGURE 3.3 – Bloc d'alimentation 220VAC/12VDC sous ISIS

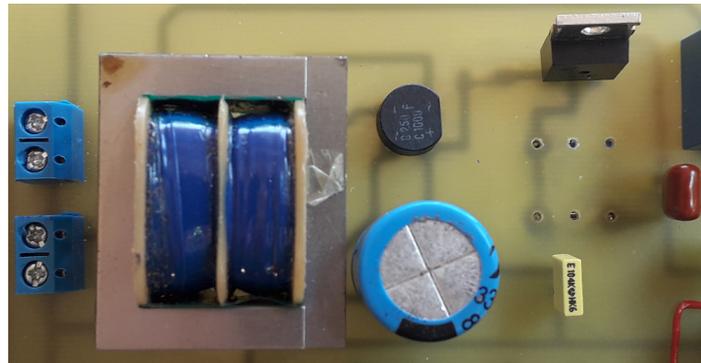


FIGURE 3.4 – Bloc d'alimentation 220VAC/12VDC sous PCB

Une alimentation stabilisée est un dispositif électronique qui contient une régulation, permettant le réglage de la tension et du courant nécessaires au fonctionnement d'un appareil électrique ou électronique. Elle est généralement conçu pour fonctionner en générateur de tension et de courant. [38]

L'alimentation stabilisée rassemble plusieurs fonctions, acheminées comme suit :

1. L'adaptation.
2. Le redressement.

3. Le filtrage.
4. La régulation.

3.4.1.1 Adaptation

Cette fonction est assurée par un transformateur qui permet, à la fois, d'assurer l'isolement entre l'appareil et le réseau et d'abaisser la valeur efficace de la tension, pour la rendre compatible avec les niveaux, habituellement, exigés par les circuits électroniques. Ainsi, notre transformateur donne 14.5V alternative avec une fréquence de 50Hz.

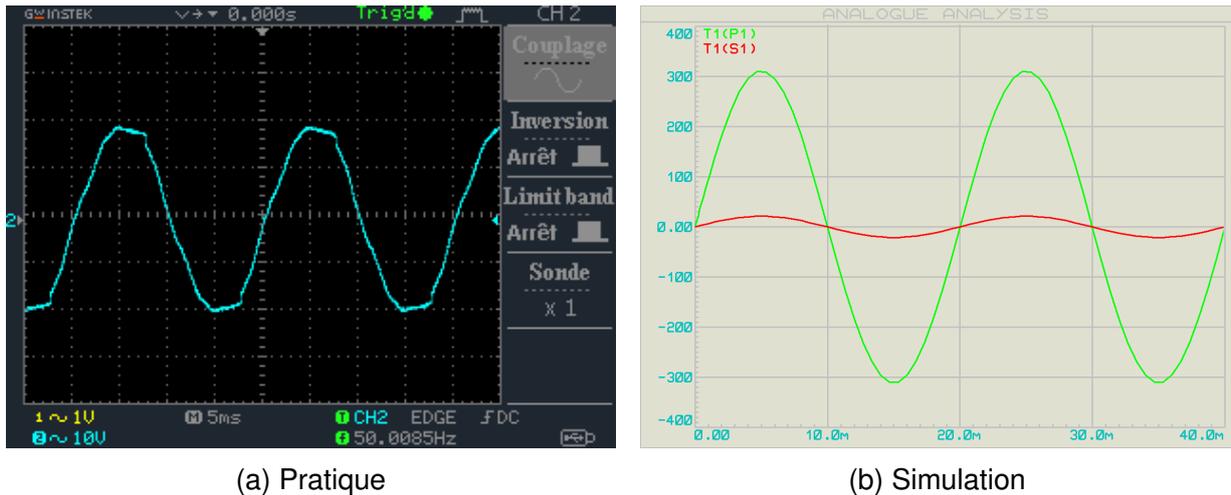


FIGURE 3.5 – Représentation du signal d'entrée et de sortie d'un abaisseur 220VAC/12VAC

3.4.1.2 Redressement

Cette fonction est accomplie par un pont à quatre diodes (B250C1000), où les deux entrées du pont sont attaquées par la tension alternative de 14.5V dû au secondaire, par la suite, les sorties du pont "+" et "-" délivrent une tension alternative à double alternance positive de signe constant. L'oscilloscope montre la valeur absolue d'un sinus. [38]

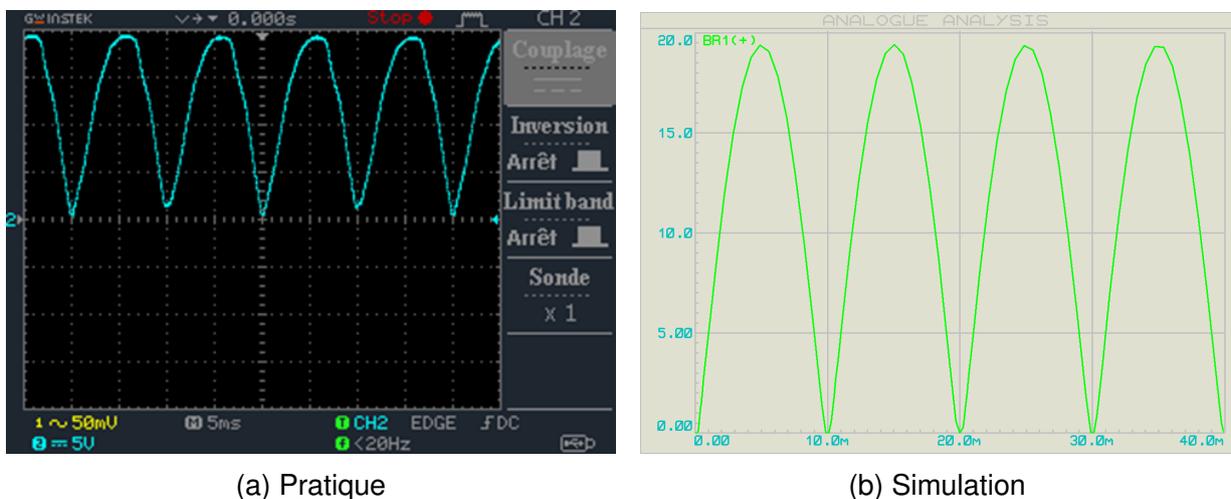
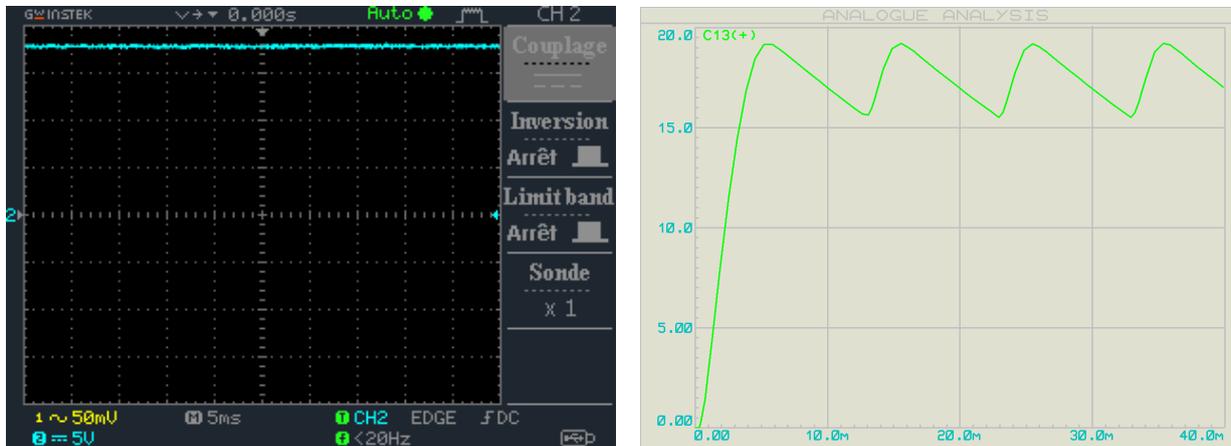


FIGURE 3.6 – Représentation du signal délivré par le pont redresseur

3.4.1.3 Filtrage

La tension de sortie aux bornes du pont redresseur est loin d'être continue. Cependant, le filtrage a pour but de transformer cette tension redressée en une tension continue légèrement ondulée. L'élément clé pour résoudre cette fonction est le condensateur électrolytique polarisé de 3300uF.



(a) Pratique

(b) Simulation

FIGURE 3.7 – Représentation du signal après filtrage



Note :

- Premier cycle : le condensateur se charge.
- Deuxième cycle : le condensateur se décharge.

Lorsqu'on augmente la valeur du condensateur, la tension devient presque continue. Cette tension peut être utilisée, mais elle reste une tension quasi-continue.

3.4.1.4 Régulation

Le régulateur va se charger de lisser la tension précédemment filtrée. Nous avons choisi un régulateur très courant du type LM317T en boîtier TO220. Ce régulateur ajustable peut accepter 40V sur son entrée, et peut produire un courant de 1.5A.

Les deux résistances R23 et R24 vont fixer la tension de sortie du régulateur. Sachant que LM317T a une tension de référence de 1.25V, cela donne :

$$V_{\text{out}} = V_{\text{ref}} \times \left(1 + \frac{R_{24}}{R_{23}}\right) = 1.25\text{V} \times \left(1 + \frac{1047}{120}\right) = 12.16\text{V}$$



(a) Pratique

(b) Simulation

FIGURE 3.8 – Représentation de la tension stabilisée

Les condensateurs C14 et C15 sont optionnels mais conseillés :

- Le condensateur d'entrée C14 est nécessaire si le régulateur est situé à une distance remarquable du filtre d'alimentation.
- Le condensateur de sortie C15 de 0,1 μ F ou plus peut également être ajouté pour améliorer la réponse transitoire de sortie.

Finalement, on aura une tension de +12 V, utilisée pour alimenter les amplificateurs opérationnels et les CMOS du circuit ainsi que le relais ; relié à la charge.

3.4.2 Capteur à effet Hall UGN3503

Dans cet étage, le but est de détecter le courant consommé par la charge.

Le noyau de ferrite de type E (ou un aimant permanent en U) bobinés avec quelques spires de fil, est couplé avec le capteur IC1 (UGN3503), le noyau et le capteur sont en série avec la charge.

Quand le courant alternatif, consommé par la charge, parcourt les spires bobinées sur le noyau de ferrite, il se produit un champ magnétique variable, amplifié par le noyau de ferrite. La surface magnéto sensible du capteur à effet Hall IC1, mis au contact du noyau, est ainsi excitée, ce qui engendre une tension alternative, dont la valeur est proportionnelle à la valeur du courant traversant les spires.

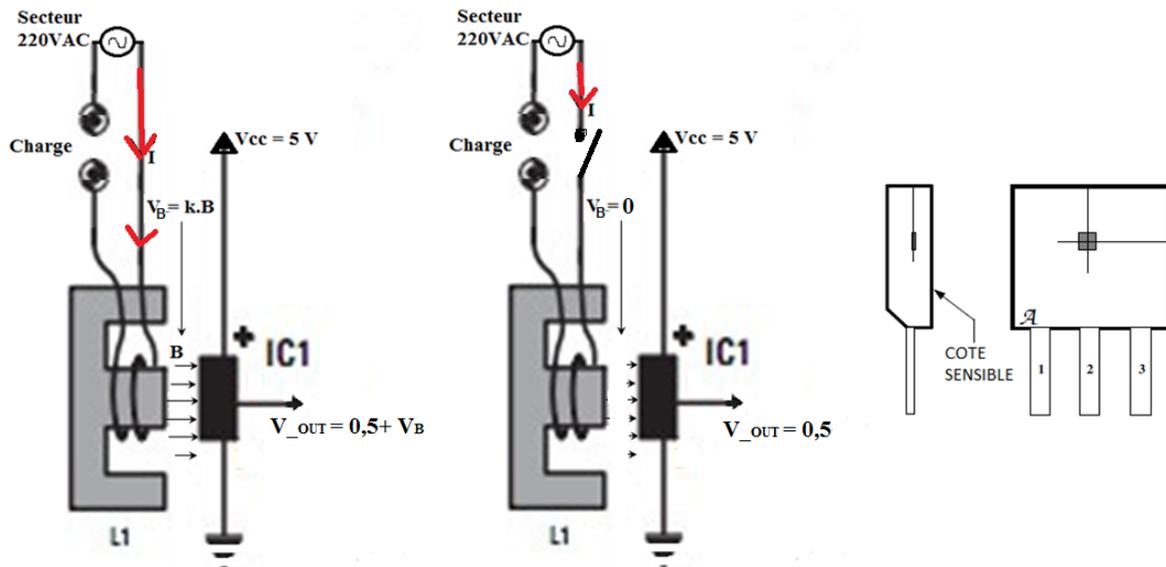


FIGURE 3.9 – Représentation de : a) Le circuit du détecteur à la présence du courant de secteur ; b) Le circuit du détecteur à l'absence du courant de secteur ; c) Géométrie du capteur à effet Hall UGN3503 (côté sensible est le côté qui ne contient aucun marquage)

Le signal de sortie est de la forme $V_{out}(B) = 0,5V_{cc} + k.B$ avec V_{cc} est la tension d'alimentation. La pente et l'ordonnée à l'origine sont dépendent de la tension d'alimentation. [39]

Les capteurs de champ magnétique sont conçus en interne autour d'une sonde à effet hall, ces sondes sont en outre sensibles au sens du champ magnétique mesuré et à sa direction.

Il est donc possible de déterminer les caractéristiques complètes d'un champ magnétique. La tension de sortie est maximale lorsque le champ est orthogonal au capteur.

- L'absence du courant alternatif dans le bobinage de la ferrite engendre un champ magnétique nul, où la tension $V_B = 0$, la tension de sortie V_{out} du capteur sera environ $V_{cc}/2$. $V_{out} = 2.5V$
- Lorsque le capteur est soumis à un champ magnétique dû au passage du courant alternatif dans le bobinage de la ferrite, la tension de sortie de ce capteur devient $V_{cc}/2 + V_B$, la sortie vaut $V_{out} = 3.2V$

Remarques importantes

- Les noyaux de ferrite sont communément appelés des matériaux magnétiques "doux", ce qui signifie que lorsqu'ils ne sont pas exposés à un courant électrique, ils ne présentent pas de magnétisme. Par-ailleurs, les aimants permanents sont considérés comme des matériaux magnétiques "durs", car leur magnétisme est présent même à l'absence du courant électrique. [44]
- Lors de la réalisation de notre projet, la non disponibilité du noyau de ferrite nous à obliger d'utilisé un aimants permanents, de ce fait, lorsqu'un courant alternatif, consommé par la charge, parcourt les spires bobinées sur l'aimant permanent, il se produit un champ magnétique à faible fréquence, qui s'ajoute au champ magnétique

permanant et donne naissance à un **champ magnétique quasi-constant**.

- La surface magnéto sensible du capteur à effet Hall IC1, mise en contact du l'aimant, est ainsi excitée, ce qui engendre une **tension à faible fréquence < 10 Hz**, dont la valeur est proportionnelle à la valeur du courant traversant les spires.

3.4.3 Comparateur LM324 avec signalisation à LED vert

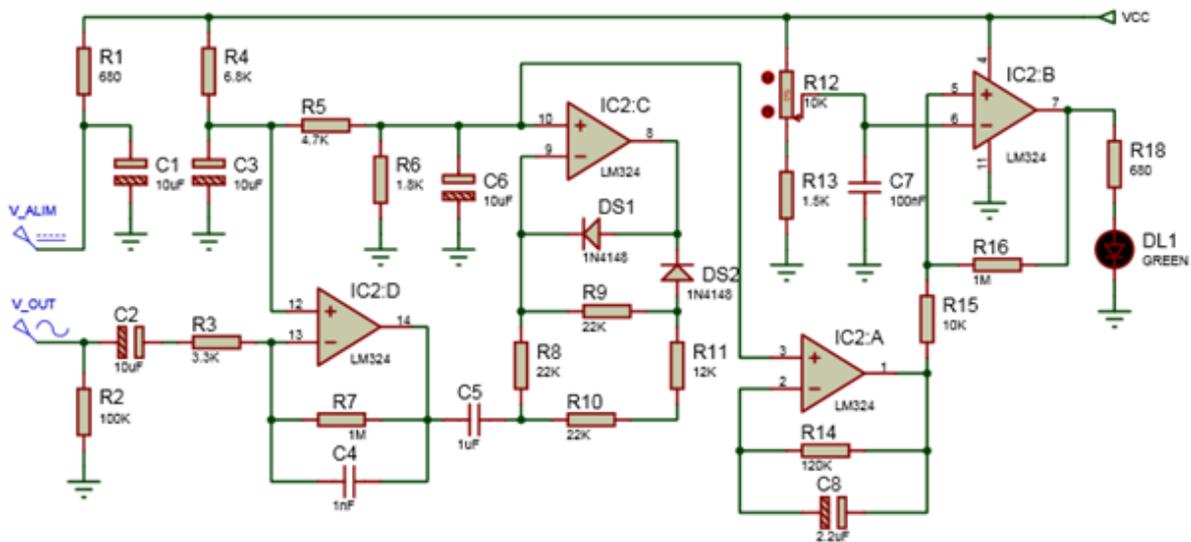


FIGURE 3.10 – Bloc comparateur attaqué par la tension générée par le capteur sous ISIS



FIGURE 3.11 – Bloc comparateur et capteur sous PCB

Lorsque le capteur est soumis à un champ magnétique, il engendre une tension de sortie à faible fréquence qui est envoyée par la suite à la broche 13 (entrée inverseuse) de l'amplificateur opérationnel IC2/D. La tension de l'entrée non inverseuse (broche 12) est attaquée par une tension de référence, continue, d'une valeur qui vaut 5.86 V. Cependant, la sortie du comparateur sera un signal à deux états :

- HAUT (11.5V) lorsque $V_+ > V_- \Rightarrow$ absence du courant de secteur
- BAS (0.5V) lorsque $V_+ < V_- \Rightarrow$ présence du courant de secteur

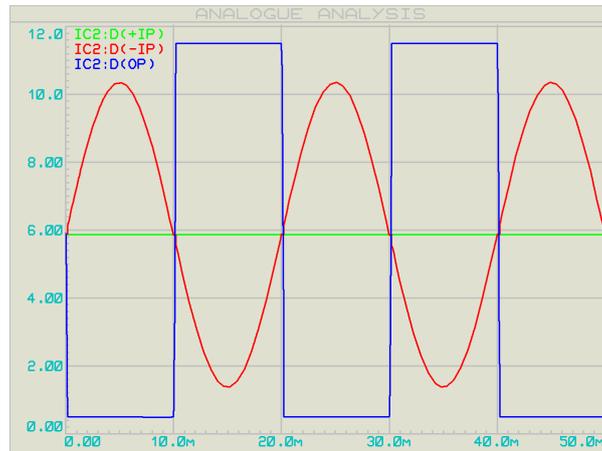


FIGURE 3.12 – Représentation des tensions d'entrée et de sortie du comparateur IC2/D

Le signal amplifié est envoyé à l'entrée inverseuse de IC2/C, connectée aux diodes DS1-DS2, au condensateur C5 et au comparateur IC2/A pour former un circuit de redressement à double alternance. La fonction de ce circuit est de fournir à la sortie 1 de IC2/A une tension continue dont la valeur dépend du courant alternatif consommé par la charge. [37]



FIGURE 3.13 – Représentation des tensions d'entrée et de sortie du comparateur IC2/C

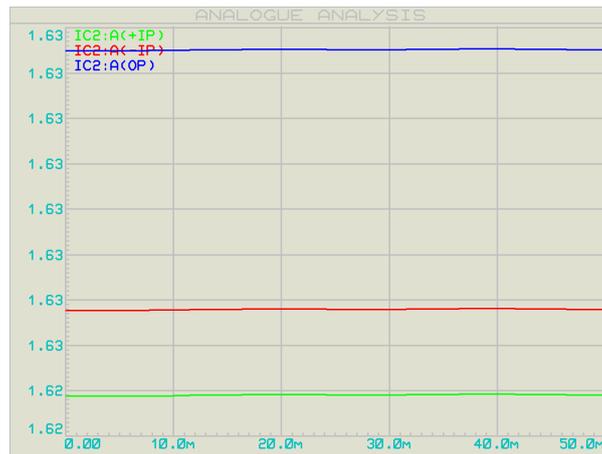


FIGURE 3.14 – Représentation des tensions d'entrée et de sortie du comparateur IC2/A

La tension continue de la sortie du comparateur IC2/A est ensuite envoyée à la broche 5 (entrée non inverseuse) de IC2/B, un comparateur de tension dont la valeur de seuil est fixée au moyen du potentiomètre R12.

- si la tension à l'entrée du comparateur est inférieure à la tension de seuil, la tension à la sortie du comparateur sera d'environ 0 volt.
- Si la tension d'entrée du comparateur est plus élevée que la tension de seuil il y aura une tension positive d'environ 12 v à la sortie, ce qui provoque l'allumage de la LED DL1.

3.4.4 Circuit porte NAND CD4093

La tension de sortie du comparateur est alors envoyée aux broches 5 et 6 de la porte NAND du CD4093 (IC3/B), utilisé comme inverseur, et sa sortie est reliée à la broche 2 de la porte NAND IC3/A, et au porte NAND IC3/C de la broche 9 de la porte NAND IC3/C.

Il est évident de faire attention à l'état des condensateurs C9 et C11 :

- Quand ils se chargent, les entrées 5, 6 et 13 de IC3 sont au niveau logique "1"
- Quand ils se déchargent, les entrées 5, 6 et 13 de IC3 sont au niveau logique "0"

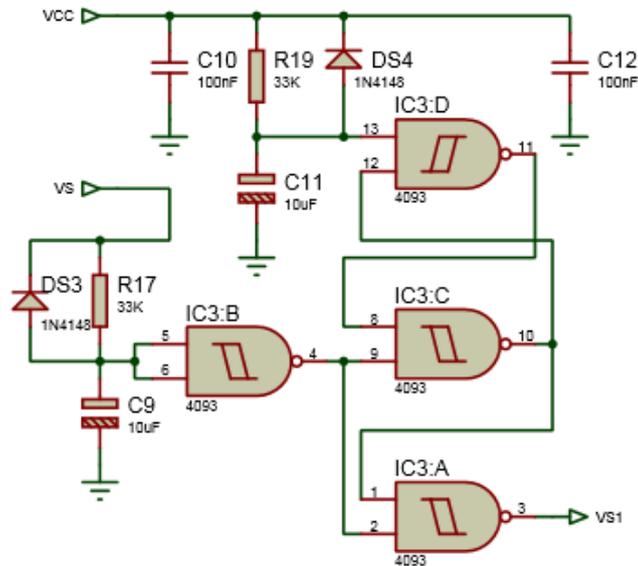


FIGURE 3.15 – Représentation du bloc électrique contenant le circuit logique CD4093 sous ISIS



FIGURE 3.16 – Représentation du bloc électrique contenant le circuit logique CD4093 sous PCB

Comme montre la figure 15, la broche 10 de la porte IC3/C est reliée à la broche 12 de la porte IC3/D, forment ainsi un FLIP-FLOP.

On présente dans la figure ci-dessous les éventuelles sorties du FLIP-FLOP de porte NAND dépendantes de leurs entrées (circuit ON/OFF).

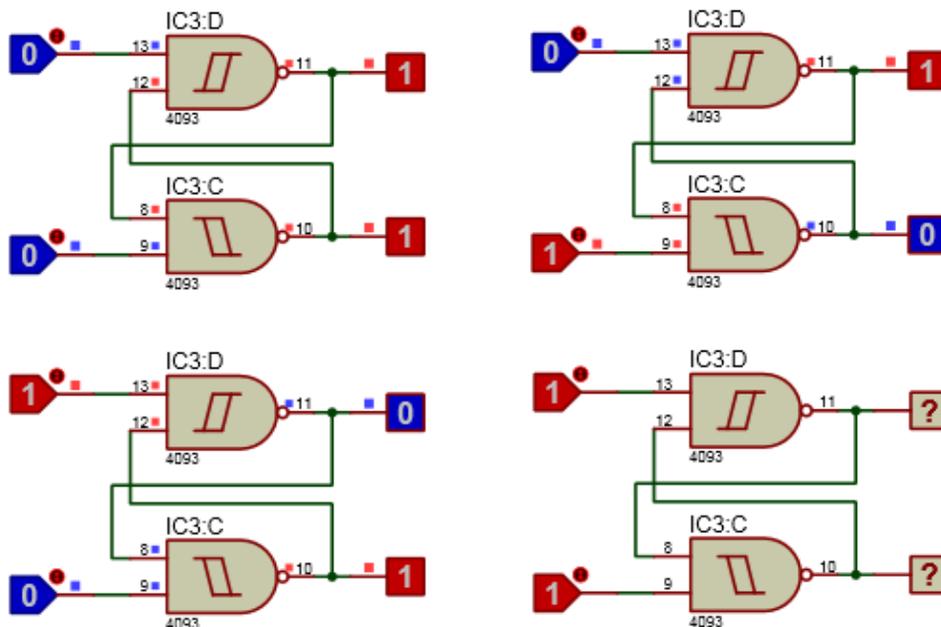


FIGURE 3.17 – Les sorties possibles de FLIP-FLOP selon les entrées



Remarque : Si les entrées 9 et 13 sont au niveau logique "1", la sortie 10 va prendre le niveau logique précédent.

La sortie du FLIP-FLOP (broche 10 de la porte IC3/C), est ensuite acheminée vers la broche 1 de la porte NAND IC3/A. Selon les niveaux logiques présents sur ces deux entrées :

- Si sa sortie 3 est au niveau logique "1", il maintient le transistor TR1 (BC547) en mode saturation et le relais sera exciter.
- Si la sortie 3 est au niveau logique "0", le transistor sera bloquer, de ce fait, le relais est relaxer.

3.4.5 Relais 12V avec signalisation à LED rouge

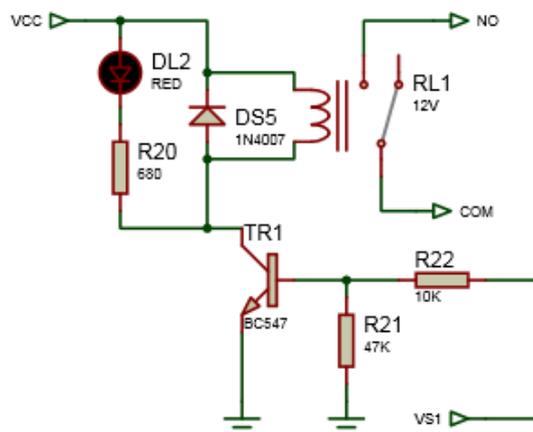


FIGURE 3.18 – Bloc qui commande de relais sous ISIS



FIGURE 3.19 – Bloc qui commande de relais sous PCB

Dans un relais, nous trouvons 3 bornes de sortie : la lamelle centrale **C** (le commun) est toujours en contact avec une des deux bornes de sortie **NF** (contact normalement fermé ou **fermé au repos**). Elle bascule sur le contact opposé **NO** (contact normalement ouvert ou **ouvert au repos**) lorsque le relais est **excité**.

Notre relais 12 volts a une résistance de bobine de 180 ohms et tirera 66,7 mA. Par conséquent, nous ne pourrions pas utiliser directement une porte numérique (NAND) pour alimenter le relais car le courant maximum qu'il peut fournir en sortie est d'environ 10 à 15 mA. Par contre, si on connecte un transistor à la sortie de la porte logique, du moment qu'on doit mettre un courant sur sa base qui lui permettra de passer en saturation, le problème sera résolu.

Le courant appliquer sur la base d'un transistor pour le porter à saturation est entre 0.9 et 5mA pour le BC547 ...

La base du transistor ne peut pas être laissée flottante, sinon il pourrait y avoir un faux déclenchement du transistor, ce qui pourrait entraîner des problèmes dans le circuit. Pour résoudre le problème, nous devons ajouter une résistance d'abaissement en série pour forcer la base au niveau logique "0", dont la valeur peut être calculée en utilisant la formule :

$$R = (V_{S1} - 0,6)/I_b$$

Avec : V_{S1} = la tension appliquée sur la base du transistor, 0,6 est la chute de tension base-émetteur et I_b présente le courant de la base du transistor.

Si on applique une tension de 12V sur la base du transistor avec $I_b = 1.5\text{mA}$, nous devons choisir une résistance R qui vaut :

$$R = (12 - 0,6)/(1,5 \cdot 10^{-3}) = 7600\Omega$$

Comme cette valeur n'est pas standard, nous pouvons utiliser une résistance de 8200Ω . Ou bien, deux résistances parallèles, la première de $10\text{K}\Omega$ et la deuxième de $47\text{K}\Omega$, ce qui donne :

$$(10000 \times 47000)/(10000 + 47000) = 8246\Omega$$

En parallèle de la bobine d'un relais, nous trouvons toujours une diode au silicium dont la cathode est orientée vers la tension positive de l'alimentation, sert à éliminer les pics de

surtension qui se manifeste dès le transistor change d'état, du blocage à la saturation ou l'inverse, ce qui change l'état de relais par la suite et permet de couper l'alimentation aux bornes de sa bobine.

Ces pics peuvent atteindre plus de 600V, qui peut détruire le transistor. C'est la raison pour laquelle on utilise 1N4007 ayant une tension de travail de 1000V.

L'ensemble de la LED DL2 en série avec la résistance R20 dont l'anode est raccordée à l'alimentation est placée en parallèle avec la diode DS5 à but de visualiser l'excitation du relais, c'est-à-dire, la LED allumée indique que le relais est excité.

La valeur ohmique de la résistance R20 est calculée grâce à la formule suivante :

$$R_{20} = (12 - 1,5)/0,015 = 700\Omega$$

Avec : 12 V est la tension d'alimentation Vcc ; 1,5 V est la chute de tension dans la LED ; 0,015 A présente le courant moyen consommé par la LED.

Cette valeur de R20 n'étant pas standard, nous utilisons une résistance de 680Ω.

Finalement, au moyen d'un relais, on peut fournir ou de couper la tension d'alimentation de la charge. [40]

3.5 Fonctionnement de l'auto-switch

Supposons que la charge et l'auto-switch sont débranchés du secteur et donc coupure d'alimentation. Si nous rebranchons maintenant la fiche à la prise secteur, la tension sur la charge ne change pas, car le poussoir P1 étant relâché, aucune tension ne parvient au transformateur T1 ni, ainsi, au RELAIS 1, lequel reste relaxé, ce qui oblige le circuit de la charge à être ouvert.

Appuyons maintenant sur le bouton poussoir P1, nous alimentons deux blocs à la fois :

- L'alimentation qui permet de fournir les 12V continue nécessaires pour tout le circuit de l'auto-switch.
- Le courant passe par le noyau de ferrite et crée un champ magnétique, et de ce fait le capteur HALL génère une tension proportionnelle à l'intensité de ce champ.

Si nous regardons bien le circuit formé par le FLIP-FLOP IC3/D-IC3/C et la porte NAND IC3/A, reliée au transistor TR1 ; À l'état initial, le condensateur C11 est déchargé, force la broche 13 de IC3/D à laquelle il est relié au niveau logique "0". D'autre part, le condensateur C9 relié aux broches 5 et 6 de la porte NAND IC3/A est lui aussi déchargé, ce qui met la broche 4 de IC3/B au niveau logique "1". Dans cette condition, le FLIP-FLOP met au niveau logique "0" sa broche de sortie 10, reliée à la broche 1 de la porte NAND IC3/A. Celle-ci à son tour met un niveau logique "1" sur la broche de sortie 3 de cette même porte (grâce au niveau logique "1" de l'entrée 2), reliée à la base du transistor TR1, lequel entrant en conduction et excite en fin le relais 1.

Ainsi nous mettons la charge sous tension et en même temps le transformateur T1, si bien que si nous relâchons le poussoir P1, notre dispositif se maintient alimenté.

Le courant consommé par le téléviseur en fonctionnement normal, provoque une tension positive sur la broche 1 de IC2/A qui, étant supérieure à la valeur du seuil paramétré avec R12, engendre sur la broche 7 de sortie du comparateur une tension positive allumant ainsi la LED DL1 et produisant un niveau logique "0" sur la broche 4 de IC3/B, reliée à l'entrée du FLIP-FLOP. Cela provoque maintenant la commutation du FLIP-FLOP et porte à "1" le niveau logique sur sa broche 10 de sortie.

Toutefois, étant donné que sur la broche 4 de la porte NAND IC3/B se trouve un niveau logique "0", cela détermine sur la broche de sortie 3 de la porte NAND IC3/A un niveau logique "1", qui maintient excité le relais 1 alimentant la charge. [37]



FIGURE 3.20 – La tension de sortie de IC3/A et tension VBM du NPN BC547

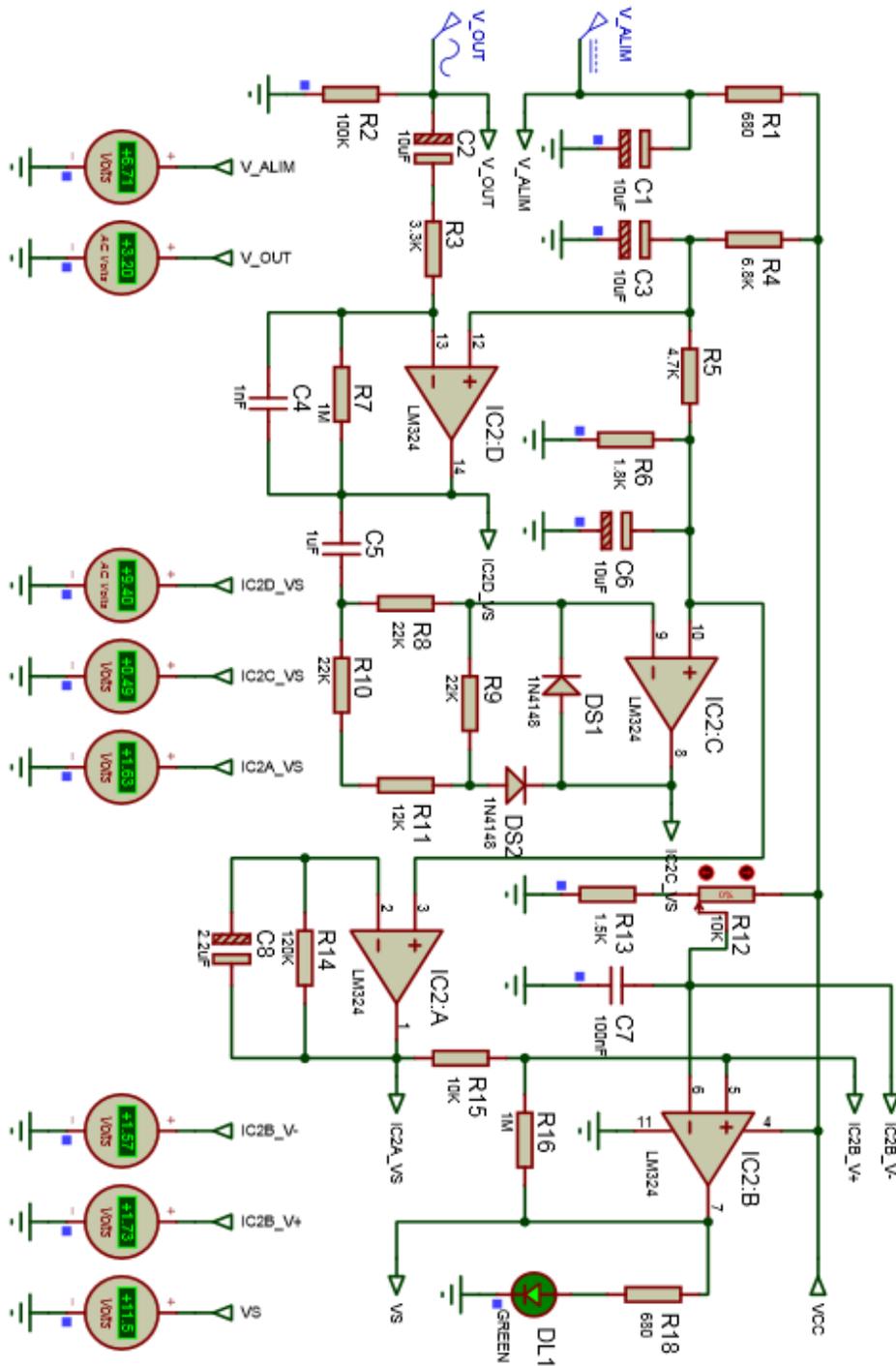


FIGURE 3.21 – Simulation de bloc comparateur à condition que VOUT = 3.2V et le trimmer à l'état initiale

La fiche technique de capteur UGN3503 indique que dans des certaines conditions (température de 25c, flux magnétique de 500G), la sortie de capteur vaut 3.2V.

OUTPUT VOLTAGE AS A FUNCTION OF TEMPERATURE

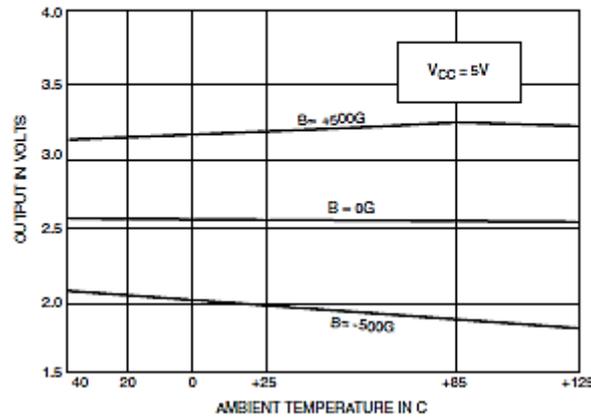


FIGURE 3.22 – Caractérisation électrique Tension-température du capteur UGN3503

La valeur de seuil paramétré par le trimmer est discutable. Cependant, la simulation nous a donné une valeur de 1.57V comme tension de seuil et c'est nettement logique car elle vérifie le principe suivant :

La tension à la borne inverseuse de IC2/B est égale à la tension au borne du condensateur C7 qui est déterminée par la formule :

$$U_C = U_0(1 - \exp(-t/RC))$$

Supposant que le condensateur est complètement chargé c'est-à-dire le temps de charge est suffisamment long pour que l'expression $\exp(-t/RC)$ soit négligeable et donc la tension au borne de condensateur est égale à sa tension d'entrée qui vaut la tension au milieu de pont diviseur (curseur dans la position zéro) :

$$V_{\text{ref}} = V_{\text{curseur}} = \frac{R_{13}}{R_{13} + R_{12}} \times V_{CC} = \frac{1,5 \cdot 10^3}{1,5 \cdot 10^3 + 10 \cdot 10^3} \times 12 = 1,57V$$

La tension de référence à la borne non-inverseuse de IC2/A est égale à 1.73V, que ce soit pour une tension de sortie du capteur de 2,5V en absence de champ magnétique, ou pour une tension de 3,2V en présence du champ magnétique.

Ce qui nous oblige à augmenter la tension de seuil du trimmer qui vaut 1,57 V à une tension de 1,733V et cela est faisable en ajoutant une valeur ohmique à la résistance R13 (principe d'un potentiomètre).

$$V_{\text{ref}} = \frac{R_{13} + R_{\text{curseur}}}{R_{12} + R_{13}} \times V_{CC} \Rightarrow R_{\text{eq}} = R_{13} + R_{\text{curseur}} = \frac{(R_{12} + R_{13}) \times V_{\text{ref}}}{V_{CC}}$$

$$R_{\text{eq}} = \frac{(10 \cdot 10^3 + 1,5 \cdot 10^3) \times 1,733}{12} = 1660\Omega$$

D'où : $R_{\text{curseur}} = R_{\text{eq}} - R_{13} = 161\Omega$ pour une tension de seuil de 1,733V.

L'excitation du Relais 1 permet d'avoir le transformateur T1 toujours allumé même si nous relâchons le bouton poussoir P1 et de ce fait l'alimentation nous fournit toujours les 12 volts continus nécessaires pour la charge (voir figure suivante).

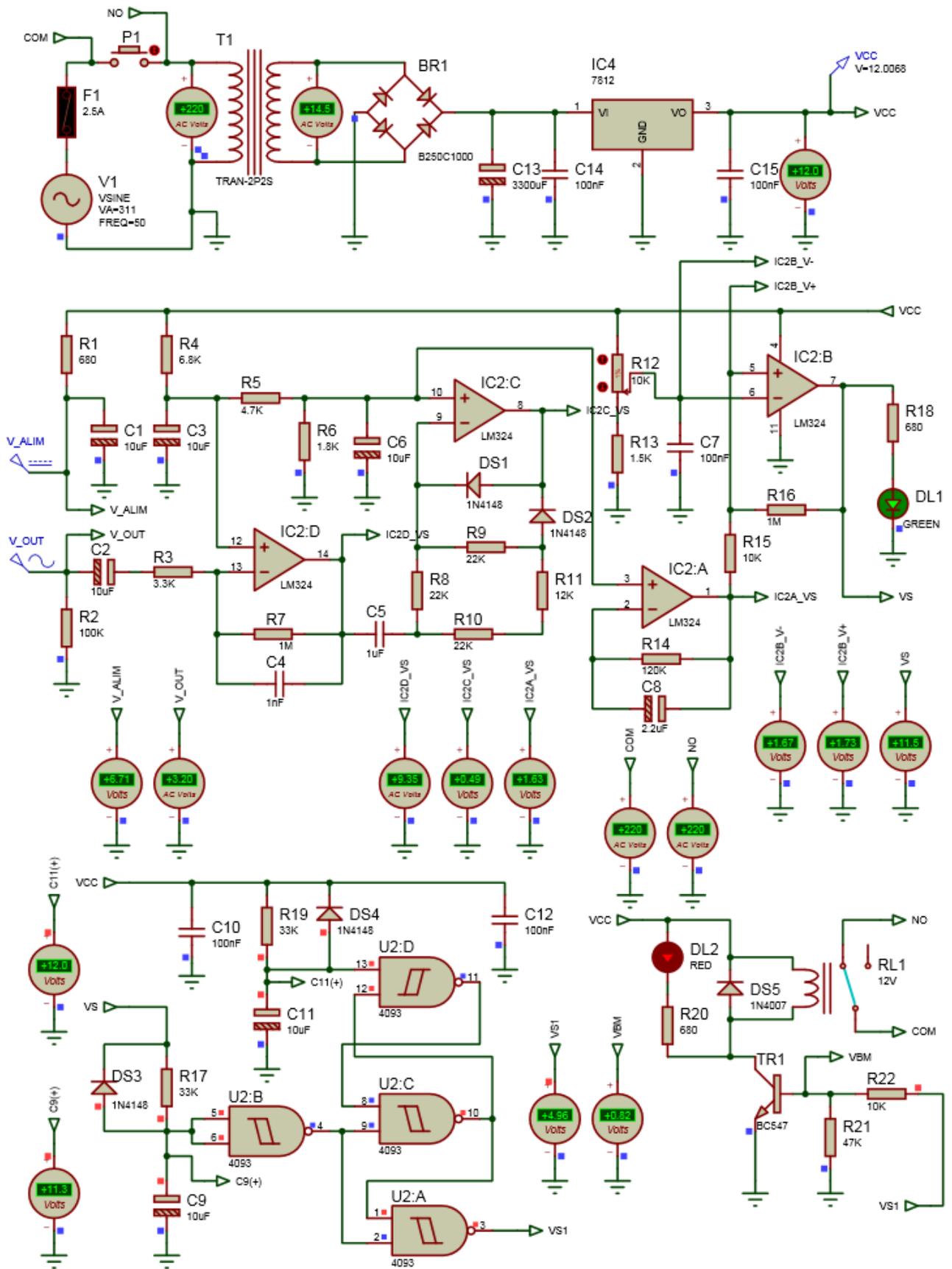


FIGURE 3.23 – Simulation de bloc comparateur où le trimmer est à l'état initial

Supposons maintenant, en utilisant la télécommande, le téléviseur est soumis en mode

“stand-by”. Le courant consommé chute brusquement en dessous du seuil fixé par le comparateur, donc la tension sur la broche 7 du comparateur IC2/B passe à 0V. La LED DL1 est éteinte pour indiquer que la charge est déconnectée de l'alimentation, nous avons un niveau logique "1" sur la broche 4 de la porte NAND U2/B, lequel, avec le niveau logique "1" déjà présent sur la broche 10 de sortie du FLIP-FLOP, détermine un niveau logique "0" sur la broche de sortie de la porte NAND U2/A, qui bloque le transistor TR1 et relaxe le relais 1. Cela provoque la déconnexion du secteur du transformateur T1 et nous ramène à l'état de départ. [37]

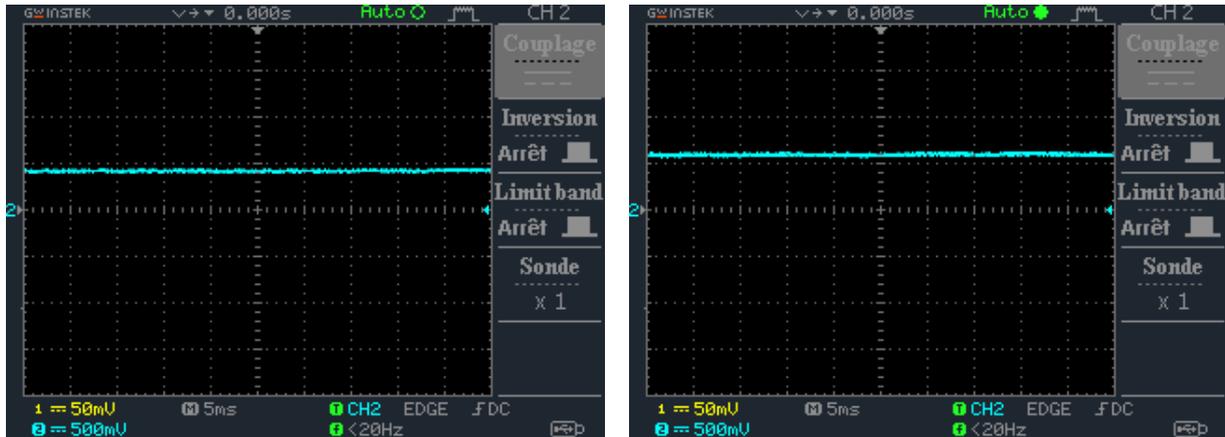


FIGURE 3.24 – La tension de sortie de U2/A et tension VBM du NPN BC547

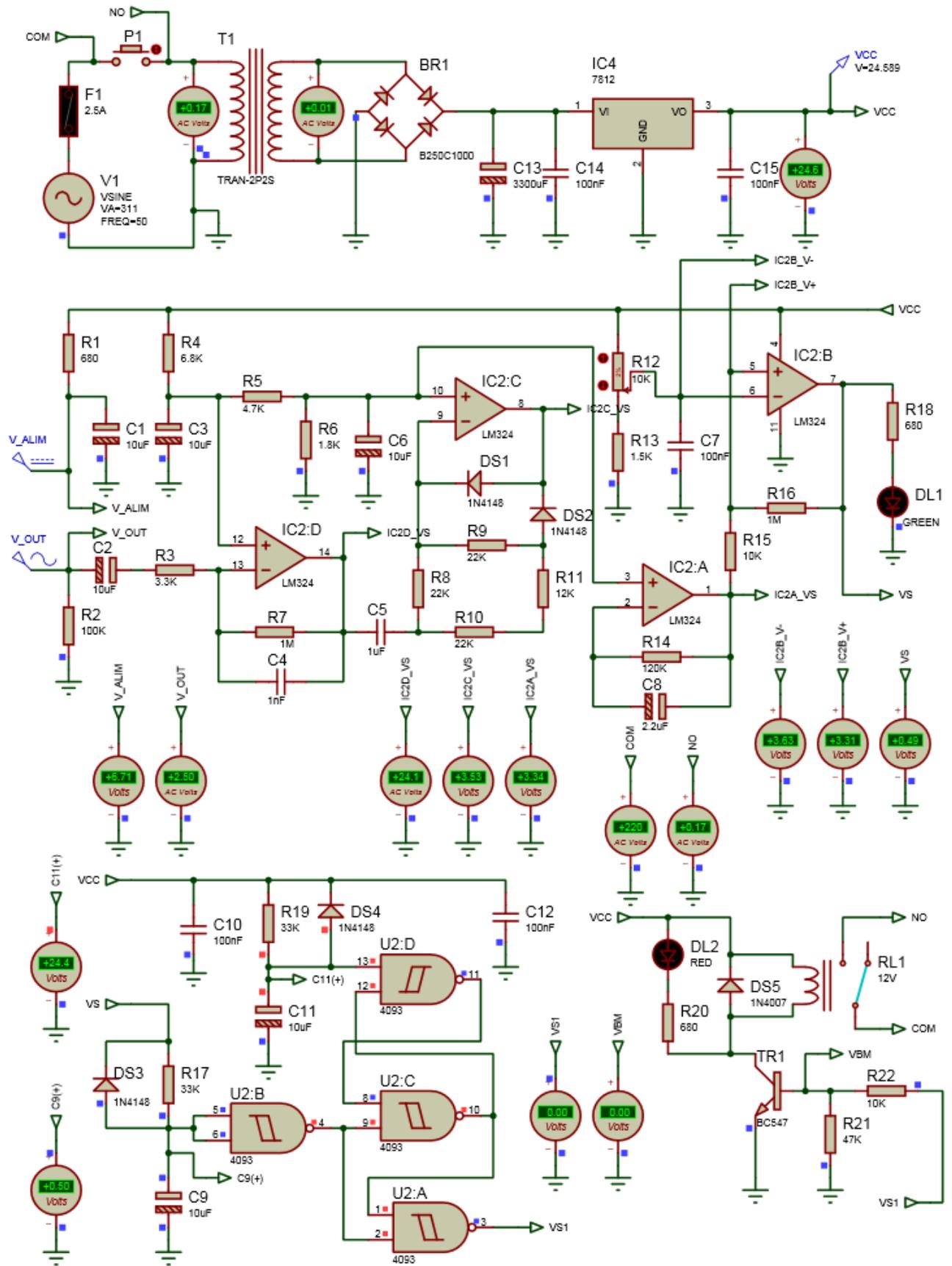


FIGURE 3.25 – Simulation de l’auto-switch, après la déconnexion du secteur et à condensateurs chargés

On remarque dans le schéma ci-dessus, malgré la déconnexion du circuit de l’aliment-

tation, l'existence d'une tension de 24 V ; dû à la décharge des condensateurs C1, C3, C6, C11 et C9 du circuit complet et après un certain moment, après la décharge quasi-complète de ces capacités à travers R1, R4, R5, R6, R12, R13 et R16 on aura une faible tension qui vaut 2V.

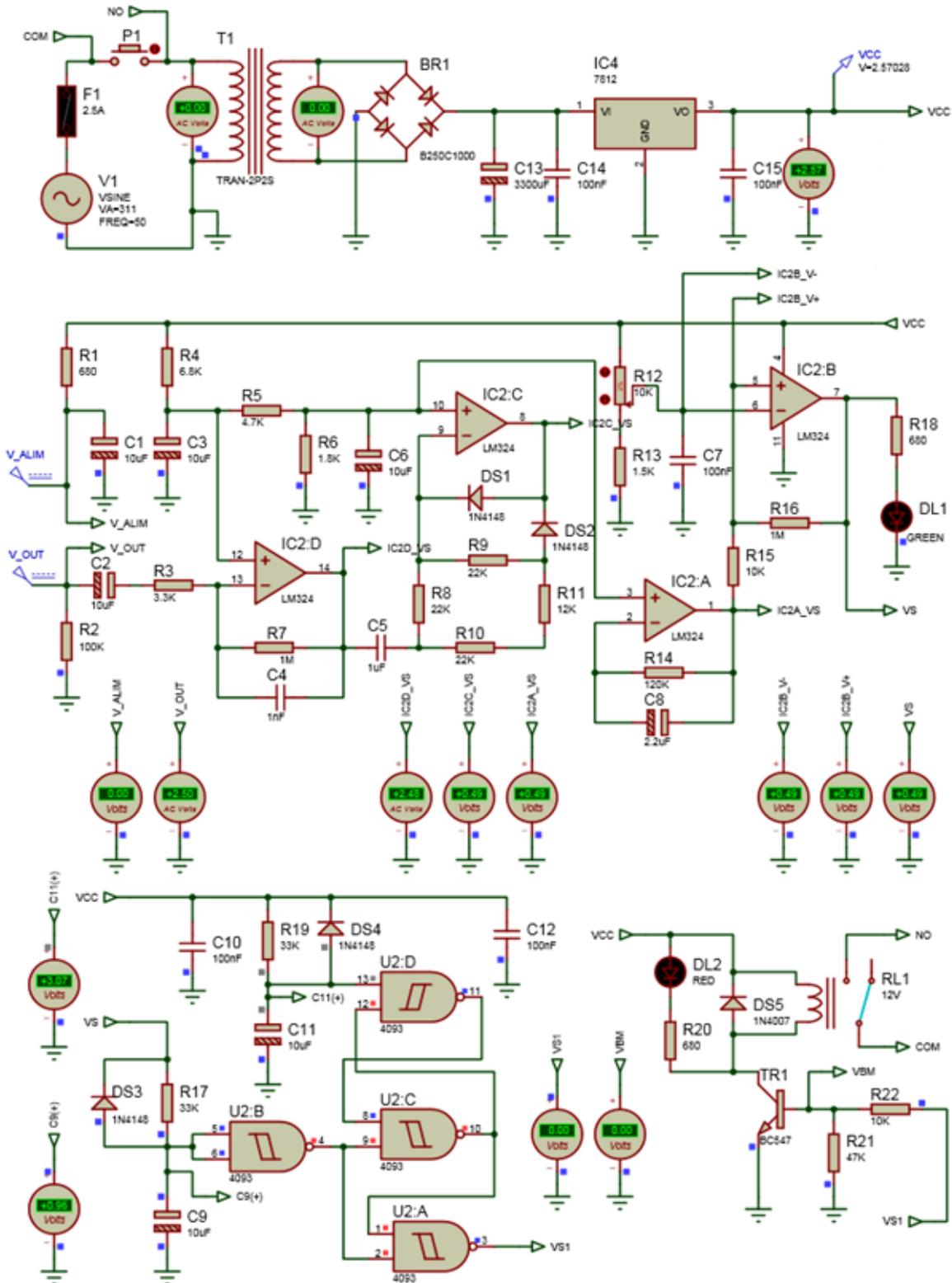


FIGURE 3.26 – Simulation de l'auto-switch, après la déconnexion du secteur et à condensateurs déchargés

3.6 La réalisation pratique

On a passé par plusieurs étapes ; avant la réalisation finale de notre appareil de sécurité domestique, sous circuit imprimé. Toutes les opérations que nous avons faites sont cheminées comme suit :

3.6.1 Dessin et routage de schéma électrique

Après avoir installé le logiciel de CAO, on a dessiné le schéma électrique en employant les bibliothèques des composants inclus dans le logiciel ISIS de PROTEUS. A l'aide du logiciel ARES, on a pu transformer le schéma précédent en PCB, définissant ainsi la taille de la plaque et en plaçant l'intégrité des composants sur cette platine. Tous les composants, insérés dans le circuit imprimé doivent contenir un package ou créer leurs packages s'ils n'existent pas.

Le routage consiste à remplacer les fils verts par des pistes de largeur à définie, le placement des composant et le routage peut être effectué automatiquement, mais souvent la méthode manuel donne des meilleurs résultats.

Il faut tenir compte à plusieurs paramètres tels que la largeur de piste et la distance entre eux (par exemple : les pistes véhiculant la tension secteur 220V doivent être distantes d'au moins 3 mm) ainsi que la taille des pastilles ... etc [41]

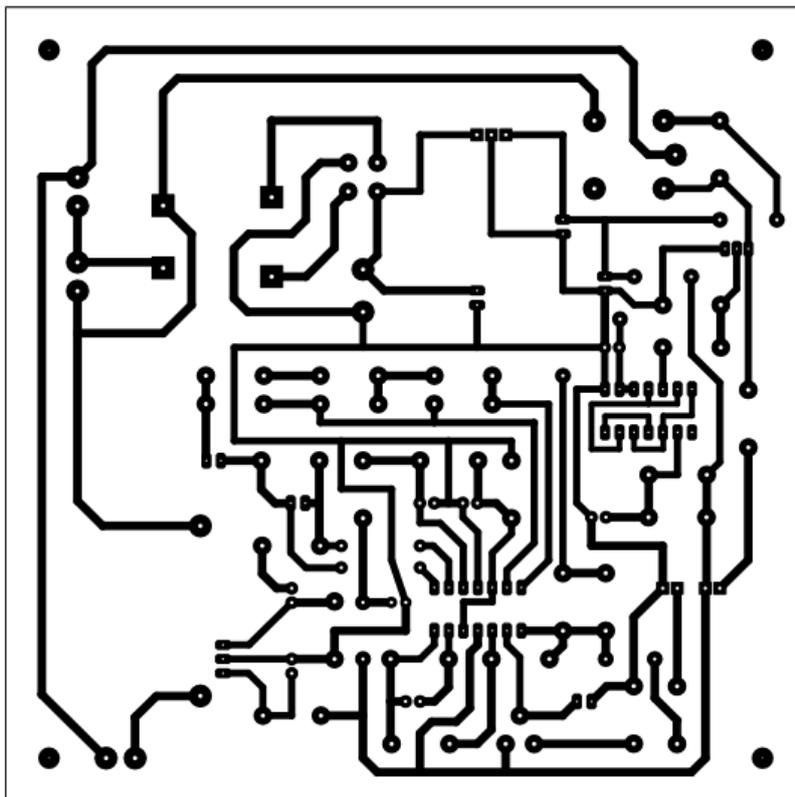


FIGURE 3.27 – Circuit imprimé de l'auto-switch, côté soudures

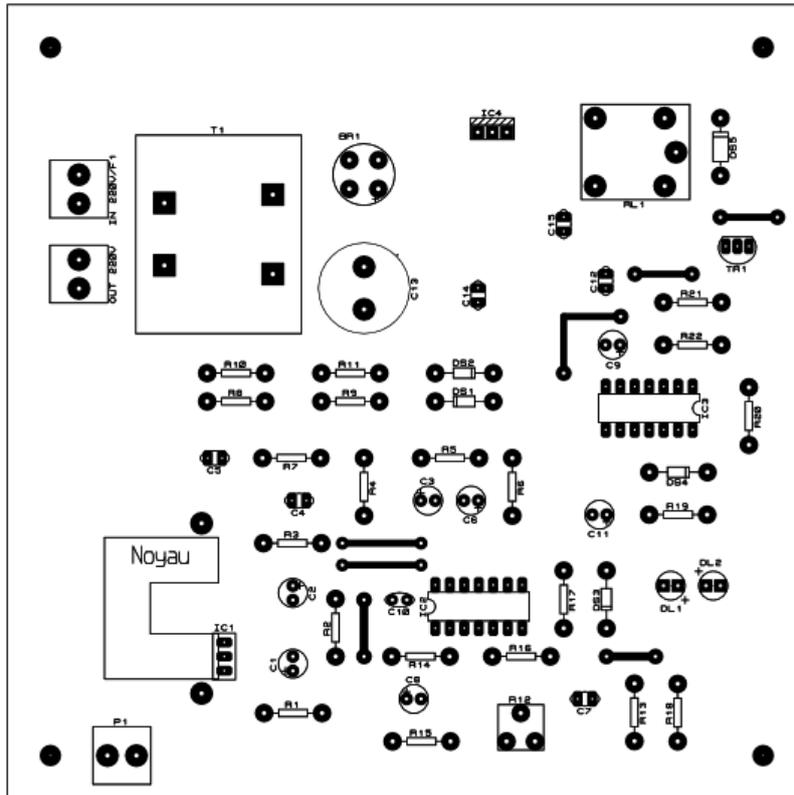


FIGURE 3.28 – Circuit imprimé de l'auto-switch, côté composants

3.6.2 Le typon

Le typon est une schématisation, composé de pistes et de pastilles imprimées sur du papier calque à l'aide d'une imprimante laser. Le typon servira à réaliser le circuit imprimé par photogravure (l'étape qui se suit).

3.6.3 Constitution de la plaque

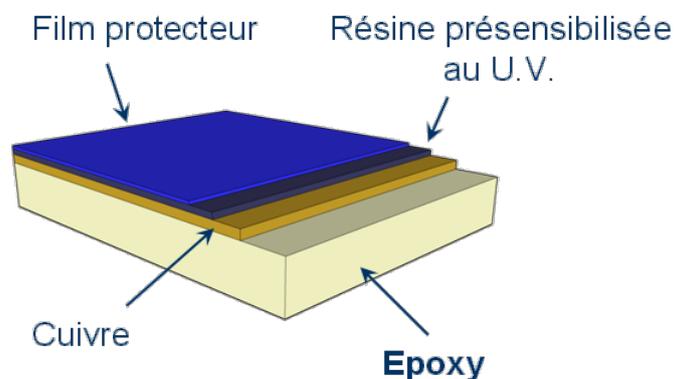


FIGURE 3.29 – Constitution de la plaque pré-sensibilisée

La plaque pré-sensibilisée est composée d'une plaque d'époxy, recouverte d'une couche de cuivre. Au-dessus du verni on place une couche de résine photosensible (sensible aux

UV) et en fin, le film protecteur doit être retiré avant l'insolation.

Le but de cette étape est de supprimer la résine et une partie de la couche de cuivre inutile, de sorte que le cuivre restant forme les pistes que nous avons décrites à l'étape précédente. [42]

3.6.4 Insolation

Lors de l'insolation, les pistes sont "imprimées" dans la résine photosensible. Pour ce faire, un typon est plaqué sur la plaque époxy pré-sensibilisée et l'ensemble est exposé à l'ultraviolet pendant quelques minutes (4 minutes). Ensuite, les traces sont gravées sur la résine.

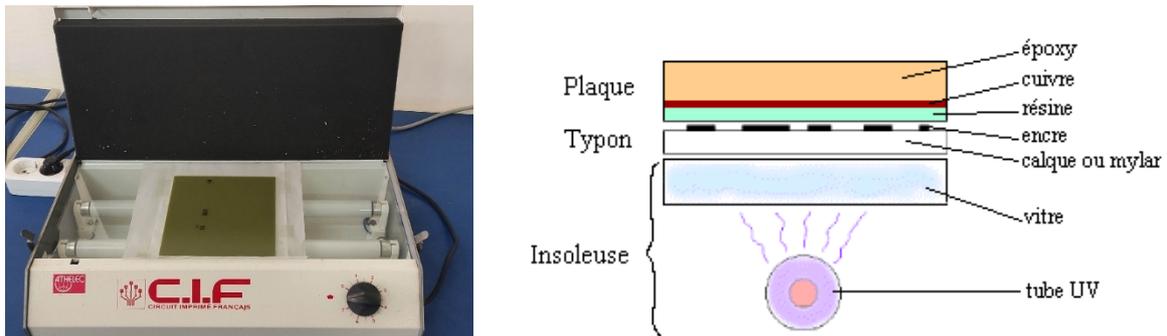


FIGURE 3.30 – Insolation de la plaque

3.6.5 Révélation

La plaque époxy pré-sensibilisée est plongée dans un bain de soude, agitée pendant quelques secondes pour enlever les parties brûlées de la couche de vernis ; en fin, les pistes en cuivre apparaissent clairement. Tout de suite, il faut rincer la plaque à l'eau pour stopper la réaction. Alors, il est indispensable de mettre des gants pour protéger les mains tout au long de la procédure.

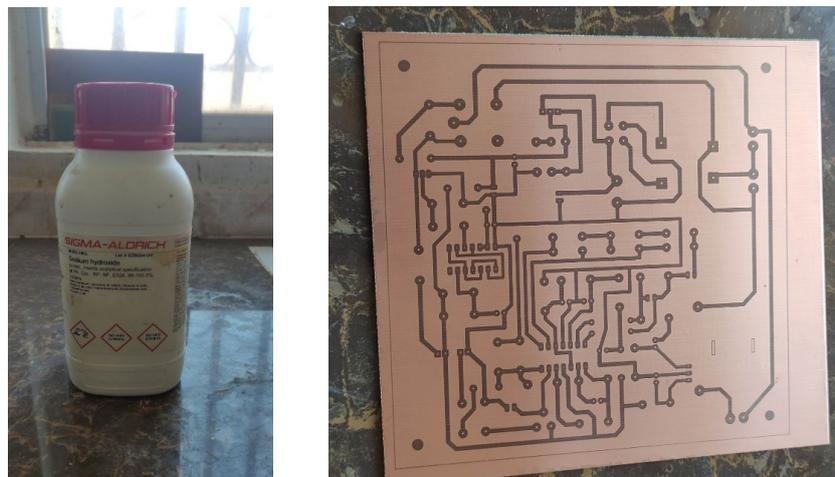


FIGURE 3.31 – Le révélateur et la plaque après révélation

3.6.6 Gravure

Notre plaque est plongée dans une cuve verticale de gravure qui contient le perchlorure de fer ; ce dernier est un acide qui va détruire (par réaction chimique) tout le cuivre autour des pistes protégées par la résine. Après un temps de 30 min, notre plaque est propre et ne contient que les pistes qui nous intéressent. [41]



FIGURE 3.32 – La gravure dans une cuve verticale

3.6.7 Perçage et soudage

Avant de souder les composants, les pastilles doivent être percées. En utilisant une perceuse couplée à un support à colonne avec des mèches de 0,8 mm ou plus, ces trous indiquent l'emplacement des pâtes des composants traversant. Après, on passe un coup de chiffon imbibé d'alcool pour enlever les restes de résine. [43]

On doit respecter aussi l'emplacement des pôles + et – des dipôles, l'anode et la cathode d'une LED. . . lors de l'implantation des composant.

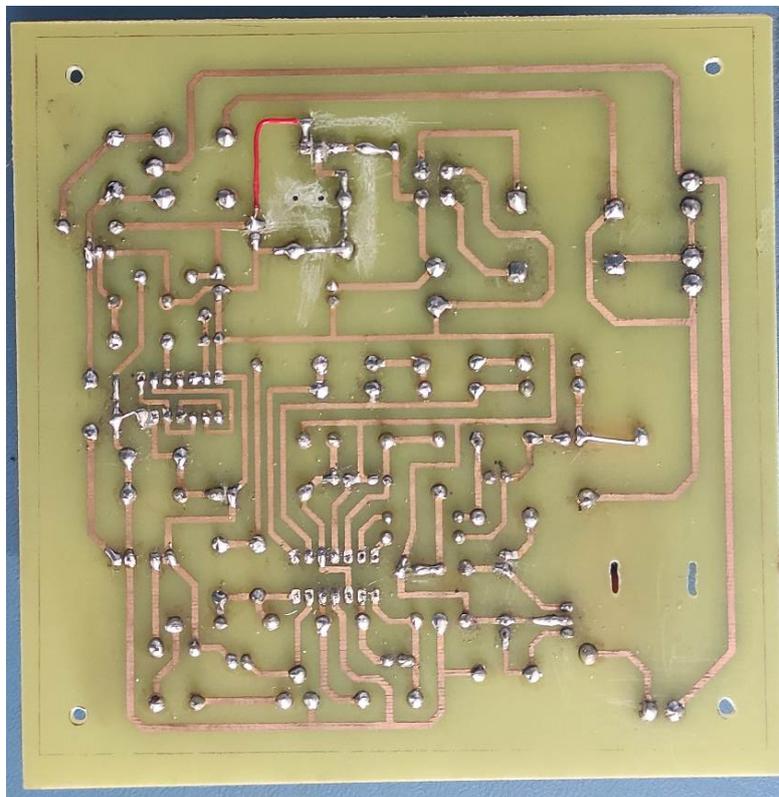


FIGURE 3.33 – La plaque coté pistes et soudures

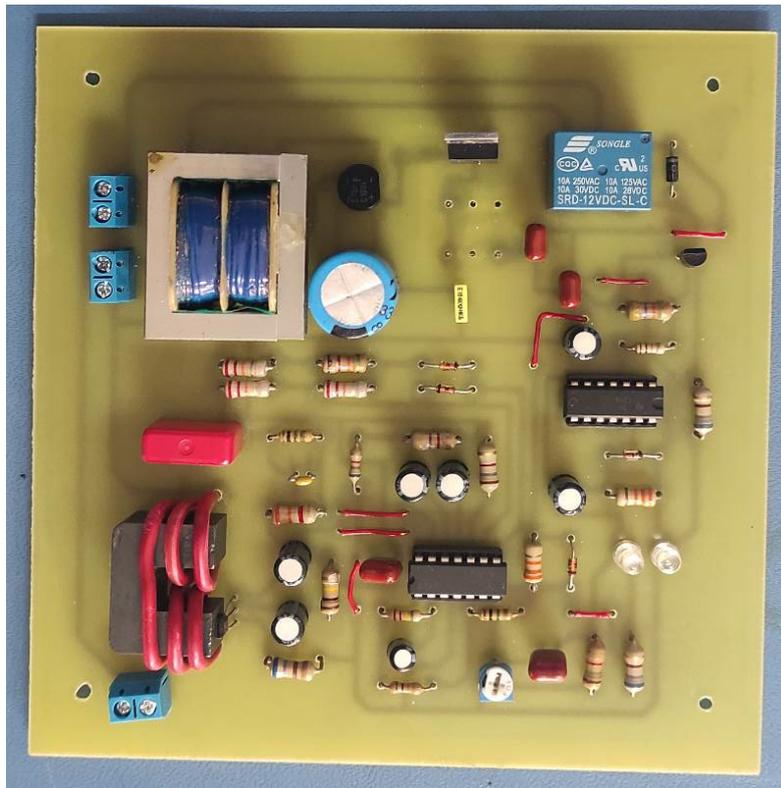


FIGURE 3.34 – la carte complète après l'implantés des composants

3.7 Nomenclature

Liste des composants

Résistances

R1 = 680

R2 = 100 k

R3 = 3,3 k

R4 = 6,8 k

R5 = 4,7 k

R6 = 1,8 k

R7 = R16 = 1 M

R8 = R9 = R10 = 22 k

R11 = 12 k

R12 = 10 k trimmer

R13 = 1,5 k

R14 = 120 k

R15 = R22 = 10 k

R17 = R19 = 33 k

R18 = R20 = 680

R21 = 47 k

Condensateurs

C1 = C2 = C3 = C6 = C9 = C11 = 10 uF électrolytique

C4 = 1 nF polyester

C5 = 1 uF polyester

C7 = C10 = C12 = C14 = C15 = 100 nF polyester

C8 = 2,2 uF électrolytique

C13 = 3300 uF électrolytique

Autres composants

L1 = voir texte

RS1 = pont redr. 100 V 1 A

DS1 = DS2 = DS3 = DS4 = 1N4148

DS5 = 1N4007

DL1 = DL2 = LED

TR1 = NPN BC547

IC1 = capteur UGN3503

IC2 = LM324

IC3 = CMOS 4093

IC4 = L7812

F1 = fusible 2,5 A

T1 = transformateur 3 VA (T003.01) sec. 0-14-17 V 0,2 A

RL1 = relais 12 V 1 contact

P1 = poussoir 220 V

Note : toutes les résistances sont des 1/4 W.

Conclusion générale

Le but de ce projet est de prévenir les risques électriques pour éviter un maximum de dommages possibles. À cette fin, nous sommes satisfaits à réaliser un tel appareil à usage de protection.

Pour ce travail, nous avons utilisé le capteur UGN3503 qui a une bonne précision, une excellente linéarité et une large plage de fonctionnement. Nous avons ensuite mis en place les différentes parties de la chaîne de mesure qui composent la carte électronique.

La partie simulation par ISIS et ARES nous a bien aidée, par nous fournir des mesures approximatives, assisté par une réalisation pratique sur une plaque d'essai qui confirme et compare toutes les mesures indispensables trouvées dans la simulation.

Après cette étude théorique et pratique sous plaque d'essai, on a passé à l'étape finale dont la réalisation sous circuit imprimé. Après la schématisation du typon sous ARES de PROTEUS et en apportant tous les composants nécessaires pour notre projet, on a pu le mettre en œuvre au niveau du laboratoire de la faculté de technologie.

Les perspectives qui découlent de ce mémoire portent sur l'amélioration de notre prototype, en remplaçant l'intégrité du circuit, après capteur, par un simple PIC18F afin de minimiser la carte électrique.

Bibliographie

- [1] « Les capteurs », par CFAURY, publié 12-02-2019, mis à jour 16-04-2023. URL : <https://si.blaiseascal.fr/1t-les-capteurs/>
- [2] Instrumentation doc, Cira chap. II : « Capteurs et transmetteurs ». URL : <http://gatt.fr/CIRA/Cours/Instrum/CIRA1%20-%202%29%20Capteurs.pdf>
- [3] Georges Asch et collaborateurs, « Les capteurs en instrumentation industrielle », 864 pages, 2010, 7ème édition - DUNOD.
- [4] Cours Thème I : « ACQUISITION D'UNE GRANDEUR PHYSIQUE (Capteurs) ». URL : <https://www.les-electroniciens.com/sites/default/files/cours/capteurs.pdf>
- [5] « Module détecteur de lumière à LDR ». URL : <https://www.framboise314.fr/scratch-raspberry-pi-composants/module-detecteur-de-lumiere-a-ldr/>
- [6] « Conditionnement du signal : mesure de poids ». URL : http://sti2dvox.patgue.com/TETT/pdf/STI2D_ETT_SIN_3_Electronique.pdf
- [7] « RCB 30 : La thermistance ». URL : <https://academie.repaircafe-paris.fr/index.php/comprendre/composants/21-electroniques/191-rcb-30-la-thermistance>
- [8] « Les thermistances ». URL : https://formation-energetique.fr/images/LPCuvelette/BacProTMSEC/cours/Term_TMSEC/Les_thermistances.pdf
- [9] DAG H Hanssen, « Programmable logic controllers », 419 Pages, 2015
- [10] « LES CAPTEURS – Détecteurs Inductifs ». URL : <http://notesdecoursbeauraing.e-monsite.com/medias/files/capteurs-complet-prof.pdf>
- [11] Catalogue « Détecteurs de proximité capacitifs Gamme XT », 19 pages. URL : https://download.schneider-electric.com/files?p_enDocType=Catalog&p_File_Name=Catalogue+D%C3%A9tecteurs+de+proximit%C3%A9+capacitifs+Gamme+XT.pdf&p_Doc_Ref=DIA4ED2170904FR&_ga=2.176301922.676739674.1675420068-1199312154.1675420068
- [12] « Hall Effect Sensor ». URL : <https://www.instructables.com/Hall-effect-sensor/>
- [13] DANIEL KOCH, « Le capteur à effet Hall UGN3503 », 2019. URL : https://diyodemag.com/education/the_classroom_the_ugn3503_hall_effect_sensor
- [14] « Module de capteur RPM pour la robotique avec UGN3503 ». URL : <https://www.electroschematics.com/rpm-sensor-module-robotics/>
- [15] « CD4093 – An IC with Four Schmitt Trigger NAND Gates ». URL : <https://www.build-electronic-circuits.com/4000-series-integrated-circuits/ic-4093/>
- [16] « Le triggers de Schmitt CD 4093 ». URL : http://www.electronique-3d.fr/Le_CD4093.html

- [17] « Experimenting With the 4093 NAND Schmitt Trigger (ART003E) ». URL : <http://www.incbtech.com/index.php/9-projects/1500-experimenting-with-the-4093-nand-schmitt-trigger-art003e>
- [18] « Le relais électromécanique ». URL : https://sti2d.ecolelamache.org/le_relais_lectromcanique.html
- [19] « Relais ». URL : https://www.sonelec-musique.com/electronique_theorie_relais.html
- [20] « Fonctionnement et applications des circuits de comparaison LM324 ». URL : <https://fr.fmuser.net/content/?15603.html>
- [21] « Amplificateur opérationnel quadruole LM324N ». URL : <https://shop.evilmadscientist.com/productsmenu/509>
- [22] « Régulateur de tension LM 7812 ». URL : <https://youpilab.com/components/product/regulateur-de-tension-lm-7812>
- [23] « Régulateurs de tension ». URL : https://www.sonelec-musique.com/electronique_theorie_reg_tension.html
- [24] « Régulation de tension série (linéaire) ». URL : <https://www.tecnipass.com/cours-electronique.cem-alimentations-regulation.lineaire?page=3>
- [25] « Noyau en ferrite ». URL : <https://www.directindustry.fr/fabricant-industriel/noyau-ferrite-78408.html>
- [26] « Transformateurs électriques ». URL : <http://for-ge.blogspot.com/2015/04/transformateurs-electriques.html>
- [27] « Transformateur de puissance ». URL : https://fr.wikipedia.org/wiki/Transformateur_de_puissance
- [28] « Les Transformateurs ». URL : <http://sen.champo.free.fr/coursenligne/Le%20transformateur.php>
- [29] « Les transformateurs ». URL : <https://courstechinfo.be/Hard/Transfo.html>
- [30] « Fusible : qu'est-ce que c'est? ». URL : <https://www.futura-sciences.com/maison/definitions/maison-fusible-10701/>
- [31] « 10k Vertical PCB Preset Variable Resistor Trimmer Potentiometer ». URL : <https://www.hnhcart.com/products/preset-10k>
- [32] « BC547 Transistor Basic Knowledge, Pinout and Application ». URL : <https://www.seeedstudio.com/blog/2020/09/10/bc547-transistor-basic-knowledge-pinout-and-application/>
- [33] « BC547 Transistor ». URL : <https://components101.com/transistors/bc547-transistor-pinout-datasheet>
- [34] « Présentation de Proteus, ISIS et ARES ». URL : <http://blewando.fr/elv/Promo2016/th4/pag1.html>
- [35] « OUTIL DE CONCEPTION DE CIRCUIT IMPRIME ARES ». URL : <https://fr.scribd.com/document/138335076/5-Cours-Ares#>
- [36] « Présentation de la suite logicielle PROTEUS ». URL : <https://docplayer.fr/71942305-Presentation-de-la-suite-logicielle-proteus.html>
- [37] Electronique Et Loisirs N°77, « L'AUTO-SWITCH ou comment éviter court-circuit et gaspillage » (p5-p11)

- [38] « 1 Fonctions. 1.2 Réalisation d'une alimentation stabilisée. Fonction de l'électronique ». URL : <https://docplayer.fr/60411000-1-fonctions-1-2-realisation-d-une-alimentation-stabilisee-fonction-de-l-e.html>
- [39] « Teslamètre et thermomètre simples et économiques ». URL : <https://www.wojylac.net/Teslametre-et-thermometre-simples>
- [40] « Schémas Des Relais et Comment Les Commander ». URL : <http://electroschema.blogspot.com/2012/02/schemas-des-relais-et-comment-les.html>
- [41] « La fabrication d'un circuit imprimé.(1ère partie) ». URL : <http://schema-montage-electronique.blogspot.com/2011/11/la-fabrication-dun-circuit-imprime1ere.html>
- [42] « Guide pratique pour la réalisation de circuits imprimés ». URL : <https://www.firediy.fr/article/guide-pratique-pour-la-realisation-de-circuits-imprimes>
- [43] « RÉALISER UN CIRCUIT IMPRIMÉ ». URL : <https://www.lelectronique.com/dossier/realiser-un-circuit-imprime-8.html>
- [44] « FAQ – MATÉRIAUX POUR AIMANTS DOUX ». URL : <https://www.dextermag.eu/fr/resources/faq-soft-magnet-materials/>