



جامعة أبو بكر بلقايد - تلمسان

Université Abou Bakr Belkaïd de Tlemcen

Faculté de Technologie

Département de Génie Biomédical

Laboratoire de Recherche de Génie Biomédical

MEMOIRE DE PROJET DE FIN D'ETUDES

Pour l'obtention du Diplôme de

MASTER en GENIE BIOMEDICAL

Spécialité : Instrumentation Biomédicale

Présenté par :

**Ziani Hadjeria
Bettriki Saadia**

**ETUDE ET REALISATION D'UN THERMOMETRE
DIGITAL**

Soutenu le 15 juin 2016 devant le Jury

M.	Rahmoun Fethi	<i>MAA</i>	Université de Tlemcen	Président
M	Hammoudi Youcef	<i>doctorant</i>	Université de Tlemcen	Encadreur
M	Taouli Sid Ahmed	<i>MCB</i>	Université de Tlemcen	Examineur
M	Kerai Salim	<i>MCB</i>	université de Tlemcen	Co-encadreur

Année universitaire 2015-2016

Remerciements

Ce travail de recherche a été entrepris au Laboratoire du Génie Biomédicale de la Faculté de Technologie de l'Université Abou-Bekr BELKAJD sous la direction de Monsieur Hammoudi Youcef, que nous remercions d'avoir pris en charge la direction de notre mémoire de fin d'étude. Malgré son emploi du temps chargé, nous a fait profiter de ses conseils et ses suggestions pertinentes. Grâce à sa rigueur scientifique, il a su nous aider au travers de nos interrogatoires. Il a été toujours disponible et à l'écoute de nos raisonnements. Pour tous les moments qu'il nous a consacrés, qu'il retrouve ici le témoignage de notre profonde gratitude.

Nous sommes très honorés que Monsieur Rahmoun Fethi Maître de conférences (A) à la faculté de Technologie ait accepté de présider le jury de ce travail de mémoire de PFE. Nous voudrions bien le remercier.

Je suis très heureux de la présence dans mon jury Monsieur TAOULI Sid AHMED, maître de conférences (B) à la même faculté en tant qu'examinateur. Il s'est montré toujours disponible pour les discussions scientifiques. C'est également un grand plaisir pour nous d'avoir en sa personne un représentant de la chaleureuse et dynamique équipe l'électronique Biomédicale.

Nous voudrions bien remercier le professeur BEREKSI REGUIG Fethi, qui a assuré notre formation du 1^o et 2^o cycle. Ses savoir-faire qui touchent à plusieurs domaines, ses bienveillances sont d'un apport considérable dans la rigueur scientifique.

Sans jamais oublier le Dr. Salim KERAI qui nous a vivement encouragés à Poursuivre nos études. Il a été pendant toute la période de l'année universitaire Disponible chaque fois que nous sollicitons son aide et ses conseils.

La collaboration de l'ensemble des enseignants ayant assuré notre formation qu'ils soient vivement remerciés. C'est eux qui nous ont guidé nos premiers pas vers ce monde merveilleux de l'électronique.

Nous tenons aussi à remercier certains collègues et nos amis de l'université de Tlemcen avec lesquels, nous avons appris énormément de choses et dans divers Domaines.

Dédicaces

Je commence mes dédicaces les plus personnels à mes parents. Pour Mon père et ma mère, la richesse d'une présence, mais aussi ses patiences, ses participations actives durant les périodes d'absences ont contribué énormément à la réalisation de ce travail. Un grand merci pour eux.

Ensuite, je ne saurais oublier ma grande famille, mes oncles de sidi Belabbes et de Ain Temouchent, ses femmes, leurs enfants, mes grand parents maternels pour leur soutien moral. Mes tantes paternelles et maternelles pour leurs soutiens inconditionnels.

Enfin, à ceux qui me sont très chers mon grand père et ma grand-mère paternel et que je n'ai pas assisté à leurs enterrement, je leur dédie ce travail de fin d'étude à leurs mémoire.

À tous, ceux que j'ai cités et à ceux qui ne sont pas cités comme Youssouf et les autres et qui m'ont apporté à un moment ou un autre une aide à la conduite de ce travail : un grand Merci du fond de mon cœur.

Ziani Hadjeria

A tous, je leur dédie ce modeste travail.

DÉDICACES

Avec l'aide de dieu clément, on a pu réaliser ce modeste mémoire qui est le fruit d'un long et dure travail.

Je dédie ce travail avec grande joie et cœur ouvert à mes très chers parents qui m'ont soutenu et encouragé avec leur présence et leurs participations actives durant mes études. Un grand merci pour eux.

Ensuite, à ceux qui me sont très chers mon grand père et ma grand mère paternelle je leur dédie ce travail de fin d'étude à leurs mémoire.

Enfin, je ne saurais oublier ma grande famille. Mon grand parent maternel pour leur soutien moral. Mes tantes paternelles et maternelles pour leurs soutiens inconditionnels.

Sans jamais oublier Sœurs Meriem et hafsa et qu'elles ont été toujours disponible à chaque fois que je sollicite leur aide et leurs conseils.

À tous, ceux que j'ai cités et à ceux qui ne sont pas cités qui m'ont apporté à un moment ou un autre une aide à la conduite de ce travail : un grand Merci du fond de mon cœur.

A TOUS, JE LEUR DÉDIE CE MODESTE TRAVAIL

Tables des Matières

INTRODUCTION GENERALE

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LA THERMOMETRIE

Introduction.....	2
1. Notion de température.....	2
1.1. Les différentes unités de température.....	3
1.2. Les échelles de température.....	3
2. Types de thermomètres	4
2.1. Thermomètre à dilatation.....	4
2.1.1. Thermomètre à gaz.....	4
2.1.2. Thermomètre à dilatation liquide.....	5
2.1.3. Thermomètre à dilatation de solide.....	6
2.2. Thermomètre à changement d'état.....	6
2.2.1. Thermomètre à pression de vapeur.....	6
2.2.2. Thermomètre à repères.....	6
2.2.3. Thermomètres à changement de couleur.....	7
2.3. Thermomètres optiques.....	7
2.3.1. Thermomètres à rayonnement total.....	7
2.3.2. Pyromètres monochromatiques.....	7
2.4. Thermomètres électriques.....	7
2.4.1. Thermomètres à résistance.....	8
2.4.2. Thermomètres à couple thermoélectrique.....	8
2.4.3. Thermomètres à semi-conducteurs.....	8
2.4.3.1. Relation tension-température.....	10
• Tension différentielle de transistors appariés...12	
Conclusion	14

CHAPITRE II : DESCRIPTION DU CAPTEUR DE TEMPERATURE

Introduction	13
--------------------	----

1.	La chaine de mesure électronique.....	13
1.1.	La chaine de mesure analogique.....	15
1.2.	La chaine de mesure numérique.....	15
1.3.	Type des grandeurs physiques.....	15
2.	Classification des capteurs.....	15
2.1.	Capteurs actifs.....	16
2.1.1.	Effet d'induction électromagnétique.....	16
2.1.2.	Effet piézoélectrique.....	17
2.1.3.	Effet pyroélectrique.....	18
2.1.4.	Effet thermoélectricité.....	18
2.1.5.	Effet photoélectricité.....	19
2.1.6.	2.1.6. Effet Hall.....	20
2.2.	Capteurs passifs.....	21
2.2.1.	capteur à résistance.....	21
2.2.2.	Capteurs capacitifs.....	21
2.2.3.	Capteurs inductifs.....	22
3.	Caractéristiques métrologiques d'un capteur.....	22
3.1.	Etendue de la mesure.....	23
3.1.1.	Zone nominale d'emploi.....	23
3.1.2.	Zone de non-détérioration.....	23
3.1.3.	Zone de non-destruction.....	23
3.2.	Résolution.....	23
3.3.	Caractéristique d'entrée-sortie d'un capteur.....	23
3.4.	Sensibilité.....	24
3.5.	Finesse	24
3.6.	Linéarité.....	24
3.7.	Caractéristique statistique d'un capteur.....	24
3.7.1.	Fidélité	25
3.7.2.	Justesse.....	25
3.7.3.	Précision.....	25
3.8.	Rapidité.....	25
3.9.	L'hystérésis.....	26
4.	Capteur de température.....	26
4.1.	Thermistances.....	26
4.1.1.	Caractéristiques des thermistances.....	26

4.1.1.1.	Résistance à coefficient de température négatif (CTN).....	26
4.1.1.2.	Résistance à coefficient de température positif (CTP).....	27
4.1.2.	Caractéristique courant-tension d'une thermistance	28
4.2.	Capteurs de température LM135, LM235, LM335, LM35....	29
4.2.1.	Description des (LM135, LM235, LM335)	29
4.2.2.	Description du capteur(LM35).....	30
4.2.3.	Brochage du capteur(LM35).....	30
	Remarque	30
	Conclusion.....	31

Chapitre III : LES DIFFERENTES OUTILS DE DEVELOPPEMENT D'UN THERMOMETRE DIGITAL

1.	Introduction.....	32
2.	Amplificateur opérationnel.....	32
2.1.	Définition.....	32
2.2.	Brochage.....	33
2.2.1.	Brochage théorique d'un AOP.....	33
2.3.	Amplificateur opérationnel parfait.....	33
2.3.1.	Caractéristique entrée sortie d'un amplificateur opérationnel parfait.....	33
2.4.	Caractérisation réelle d'un AOP.....	36
2.5.	Quelques montages de bases d'amplificateur opérationnel	37
2.5.1.	Amplificateur de tension non-inverseur.....	37
•	Schéma.....	37
•	Formule.....	38
•	Remarque.....	38
•	Comment calculer Vs en fonction de Ve.....	38
2.5.2.	Amplificateur de tension inverseur.....	39
•	Schéma	39

	•	Formule.....	39
	•	Remarque.....	39
	•	Comment calculer V_s en fonction de V_e	39
2.5.3.		Amplificateur différentiel.....	40
	•	Schéma.....	40
	•	Formule.....	40
	•	Remarque.....	40
	•	Comment calculer V_s en fonction de V_e	41
2.5.4.		Convertisseur courant-tension.....	42
	•	Schéma.....	42
	•	La formule.....	42
2.5.5.		Montage soustracteur.....	42
	•	Schéma.....	42
	•	Formule.....	43
2.5.6.		Montage intégrateur.....	43
	•	Schéma.....	43
	•	Formule.....	44
2.6		Les amplificateur linéaire intégré en mode non linéaire.....	44
2.6.1.		Le Comparateur à Simple Seuil.....	44
2.6.1.1.		Comparateur Non Inverseur.....	44
	•	Schéma.....	44
	•	Interprétation de la courbe.....	45
2.6.1.2.		Comparateur Inverseur.....	45
	•	Schéma.....	45
	•	Interprétation de la courbe.....	46
2.6.2.		Le Comparateur à 2 Seuils.....	46
2.6.2.1.		Le Comparateur Non Inverseur à 2 Seuils.....	46
	•	Schéma.....	47
	•	Formule.....	47
2.6.2.2.		Le comparateur Inverseur à 2 Seuils.....	48
	•	Schéma	48
	•	Formule.....	49
2.6.3.		Comparateur à fenêtre.....	49
	•	Schéma.....	49
3.		Le convertisseur analogique numérique.....	50

3.1.	Définition.....	50
3.2.	Types de convertisseur.....	50
3.2.1.	Convertisseur à simple rampe.....	50
3.2.2.	Convertisseur à double rampe.....	52
3.2.3.	Convertisseur Sigma Delta.....	53
3.2.4.	Convertisseur à approximations successives.....	55
3.2.5.	Convertisseur flash.....	57
3.2.6.	Convertisseurs semi-flash pipeline.....	58
3.3.	Brochage et description du CA3162.....	59
3.3.1.	Brochage.....	59
3.3.2.	Description du CA3162.....	60
3.4.	Principe de fonctionnement du CA3162.....	61
3.5.	Etude sur le décodage et affichage.....	62
3.5.1.	Brochage du décodeur.....	62
3.5.2.	Description et brochage des afficheurs.....	63
3.6.	Principe de fonctionnement du système d'affichage.....	63
4.	Afficheur LCD.....	64
4.1.	Définition.....	64
4.2.	Présentation.....	65
4.3.	Type des afficheurs LCD.....	65
4.3.1.	Cristaux liquides monochromes.....	65
4.3.2.	Cristaux liquides couleur.....	67
5.	Affichage à l'aide d'un Arduino.....	68
5.1.	Définition.....	68
5.2.	Description du matériel.....	68
6.	Le logiciel utilisé.....	69
	Conclusion.....	70

CHAPITRE IV : OPERATION ET ANALYSE EXPERIMENTALE POUR LA REALISATION DUN THERMOMETRE DIGITAL A BASE DUN ARDUINO

Introduction.....	72
-------------------	----

IV.1. Etude et comparaison pratique de plusieurs capteurs de température.....	72
VI.1.1. Analyse expérimentale des différents capteurs de températures	72
VI.1.1.1. Diode 1N4001	72
IV.1.1.2. PT100.....	74
IV.1.1.3. Thermistance C.T.N (4.7K Ω).....	76
IV.1.1.4. Capteur de température LM335.....	78
IV.1.1.5. Amplificateur et soustracteur pour le LM335.....	80
IV.1.1.6 Capteur de température LM35.....	82
IV.1.2. Application de la méthode des moindres carrée.....	84
IV.2. Chaîne de mesure d'un thermomètre électronique.....	85
IV.2.1. Capteur utilisé.....	85
IV.3.1. Arduino UNO.....	85
IV.3.1.1. Instructions.....	86
IV.3.1.2. Programmation du microcontrôleur (Arduino Uno).....	86
IV.3.1.3. Explication du programme.....	88
IV.3. Affichage de la température.....	88
IV.3.1 Affichage.....	88
IV.3.2. Brochage de l'afficheur LCD.....	89
IV.3.2.1. Fonctionnement de l'afficheur LCD.....	89
IV.3.2.2. Les avantages et les inconvénients des écrans LCD.....	89
IV.3.3 Comparateur à fenêtre.....	90
IV.3.3.1 Etage de comparaison.....	91
IV.3.4. Encodeur de priorité.....	92
IV.3.5. Affichage avec LED.....	92
Conclusion	93

CONCLUSION GENERALE

NOMEMCLATURE

BIBLIOGRAPHIE

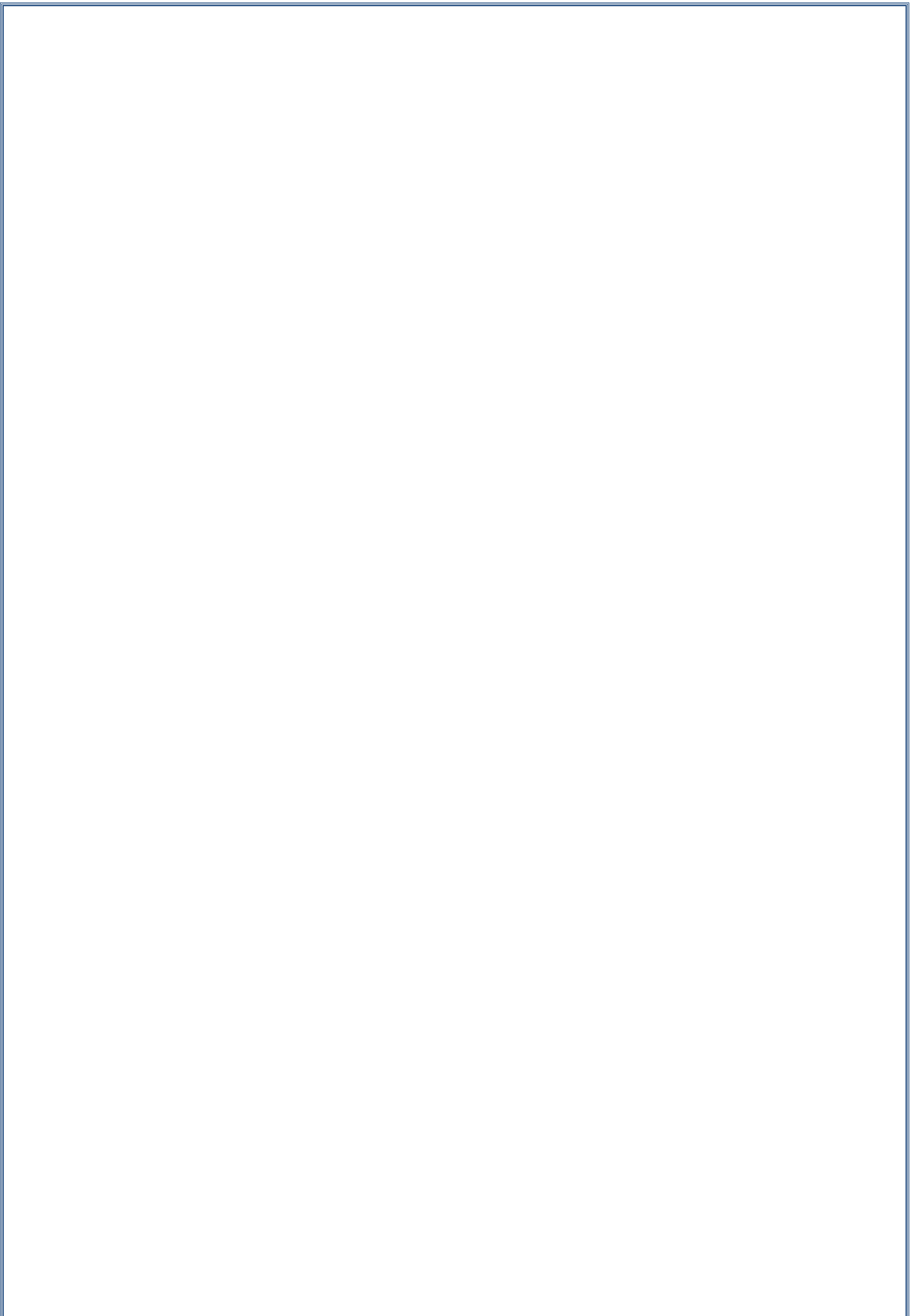


TABLE DES FIGURES

CHAPITRE I

Figure I-1. Différents modèles de thermomètre.....	2
Figure I-2. Les échelles de température.....	3
Figure I-3. Thermomètre à gaz.....	5
Figure I.4 : Thermomètre à dilatation de liquide.....	5
Figure I-5. Thermomètre à vapeur.....	6
Figure I-6. Pyromètre linéaire.....	7
Figure I-7. A : Diode ; B : transistor monté en diode ; C : transistor appairer.....	9
Figure I-8. Comparaison de l'erreur de linéarité d'un transistor capteur de température de celle d'une résistance en platine et d'un thermomètre de type T.....	11
Figure I-9. Comparaison de linéarité de capteurs de température à transistors unique et à transistor appairer	13

CHAPITRE II

Figure II-1. Schéma descriptif du capteur.....	13
Figure II-2. Constitution d'une chaîne de mesure.....	14
Figure II-3. Les types des signaux fournis par un capteur.....	15
Figure II-4. La différence entre capteur actif et capteur passif.....	16
Figure II-5. Effet d'induction électromagnétique.....	17

Figure II-6. Effet piézoélectrique.....	18
Figure II-7. Effet pyroélectrique.....	18
Figure II-8. Effet thermoélectrique.....	19
Figure II-9. Effet photoélectrique.....	19
Figure II-10. Effet photoélectrique.....	20
Figure II-11. Capteur à résistance (variation de pression).....	21
Figure II-12. Fonctionnement d'un Capteur capacitif.....	22
Figure II-13. Le symbole d'un Capteur inductif.....	22
Figure II-14. Courbe d'étalonnage du capteur.....	23
Figure II-15. Les caractéristiques statiques d'un capteur.....	25
Figure II-16. Courbe d'erreur d'hystérésis.....	26
Figure II-17. Courbe de la caractéristique d'une CTN.....	27
Figure II-18. Courbe de la caractéristique d'une CTP.....	28
Figure II-19. Caractéristique courant-tension.....	29
Figure II-20. Brochage du LM35.....	30

CHAPITRE III

Figure III-1. Symbole d'un AOP.....	32
Figure III-2. La tension de claquage d'un AOP.....	35
Figure III-3. Le courant de décalage.....	36
Figure III-4. Amplificateur non inverseur.....	38
Figure III-5 Schéma d'un amplificateur inverseur.....	39
Figure III-6. Schéma d'un amplificateur différentiel.....	40

Figure III-7. Schéma d'un convertisseur courant tension.....	42
Figure III-8. Un montage soustracteur.....	43
Figure III-9. Un montage intégrateur.....	43
Figure III-10. Comparateur non- inverseur.....	45
Figure III-11. Les variations de V_s en fonction de V_e du comparateur non- inverseur.....	45
Figure III-12. MONTAGE COMPAREUR INVERSEUR.....	46
Figure III-13. Les variations de V_s en fonction de V_e du comparateur inverseur.....	46
Figure III-14. Montage comparateur à 2 seuils non inverseur.....	47
Figure III-15. Les variations de V_s en fonction de V_e du comparateur à 2 seuils non inverseur.....	47
Figure III-16. Montage comparateur à 2 seuils inverseur.....	48
Figure III-17. Les variations de V_s en fonction de V_e du comparateur à 2 seuils inverseur.....	48
Figure III-18. Montage Comparateur à fenêtre.....	49
Figure III-19. Exemple avec une fonction comparateur à fenêtre.....	50
Figure III-20. Principe du convertisseur à simple rampe.....	51
Figure III-21. Architecture du convertisseur double rampe.....	52
Figure III-22. Principe d'un convertisseur de suréchantillonnage (Sigma Delta)..	54
Figure III-23. Architecture d'un convertisseur Sigma Delta.....	55
Figure III-24. Principe d'un convertisseur à approximation successive.....	56
Figure III-25. Elaboration d'un convertisseur à approximation successive.....	56
Figure III-26. Architecture d'un convertisseur flash.....	57
Figure III-27. Converteur semi-flash.....	58

Figure III-28. Brochage du convertisseur CA3162.....	59
Figure III-29. Description du schéma interne du CAN 3162.....	60
Figure III-30. Brochage du Décodeur.....	62
Figure III-31. Afficheur LCD à Cristaux liquides monochromatiques	65
Figure III-32. Afficheur LCD à Cristaux liquides couleur.....	67

CHAPITRE I

Figure IV.1 : le conditionnement de la diode 1N4001

Figure IV.2. L'évolution de la température en fonction de la tension aux bornes de la diode

Figure IV.3 : Le conditionnement de la sonde pt100

Figure IV.4. L'évolution de la température en fonction de la tension pour la résistance en platine

Figure IV.5. Le conditionnement de la thermistance CTN

Figure IV.6. L'évolution de la température en fonction de la tension pour la thermistance CTN

Figure IV.7. Schéma synoptique d'un circuit conditionnement du capteur LM335

Figure IV.8 Le conditionnement du capteur LM335

Figure IV.9. L'évolution de la température en fonction de la tension pour le capteur LM335

Figure I.10 circuit d'amplification et soustraction

Figure IV.11. L'évolution de la température en fonction de la tension du capteur LM335 avec un soustracteur

Figure IV.11. Le conditionnement du capteur LM35

Figure IV.12. L'évolution de la température en fonction de la résistance du capteur LM35

Figure IV.13. Evolution de la température en fonction de la tension du capteur LM35 après l'application de la méthode des moindres carrés

Figure IV.14. Capteur LM35

Figure IV.15. Montage LM35 avec Arduino

Figure IV.16.: Afficheur LCD.

Figure IV.17. Photo de l'afficheur LCD monté sur Arduino

Figure IV.18. Schéma synoptique d'un comparateur

Figure IV.19. Schéma électrique d'un comparateur

INTRODUCTION GENERALE

Nous avons tous dit au moins une fois : «Qu'est ce qu'il fait chaud !».

Cette sensation est liée principalement à la notion de température. Elle est présente dans de nombreux actes quotidiens.

Le thermomètre est un instrument qui sert à mesurer la température. Il est utilisé dans différents domaines (médical, alimentaire, industrie.....etc.).

Le thermomètre médical évalue la température de notre corps. Les premiers modèles de thermomètres avaient vu le jour grâce à certains hommes de science vers le 16ème siècle.

Le modèle primitif était un instrument buccal. Il était encombrant et devait rester en contact avec le malade plus de 25 minutes. Vers la fin du 18ème siècle, les scientifiques perfectionnèrent les modèles et étendirent l'utilisation du thermomètre à la clinique médicale.

Plusieurs savants ont participé à l'évolution du thermomètre (Santorio, Huygens, Fahrenheit.). Dès 1870, le thermomètre acquiert sa forme définitive (grâce à Sir Albert). Depuis plusieurs années, de nombreux modèles ont été conçus.

En revanche, une température repérée au moyen de l'échelle thermométrique n'est pas une grandeur mesurable car nous pouvons définir l'égalité de deux températures mais nous ne pouvons pas en faire la somme.

On devrait donc dire : évaluer, comparer, marquer, indiquer la température et non pas la mesurer au sens propre du terme. La température constitue une information importante dans plusieurs processus industriels et de laboratoire.

Elle intervient comme une grandeur principale dont la valeur doit être connue avec précision ou comme paramètre influant sur la qualité d'autres mesures.

Le travail de ce mémoire de fin d'étude consiste à étudier la conception et la réalisation d'un thermomètre électronique. Il est structuré en deux parties. La première partie est consacrée d'une part à l'étude des différents thermomètres existants ainsi que les caractéristiques de chaque type de capteurs et d'autre part à la description des moyens d'affichage de la grandeur mesurée.

Dans la deuxième partie, nous nous sommes intéressés à étudier la linéarité de plusieurs capteurs de température afin de sélectionner le plus approprié pour la suite de notre chaîne de mesure. Les principes de chaque étage de la chaîne de mesure sont définis et décrits. Un troisième chapitre est consacré à la réalisation pratique du thermomètre digital. A la fin une conclusion générale est donnée.

Chapitre I :

Généralité

Sur la

thermométrie

Chapitre I: Généralité sur la thermométrie

Introduction :

Les organes internes ne fonctionnent correctement que lorsqu'ils sont soumis à certaines gammes de température. Au sein des mêmes espèces, des températures corporelles différentes induisent des états particuliers et impliquent des comportements différents.

Certains organes ne fonctionnent normalement qu'à une température différente de celle du corps, c'est le cas des testicules chez la plupart des mammifères.

I.1 Notion de température :

La notion de température est liée à la sensation du chaud et du froid due au sens du toucher. Soit un corps, solide, liquide ou gazeux au repos. En fait le repos n'est qu'apparent car il se produit en tout point une agitation moléculaire ; les molécules sont précipitées

Les unes contre les autres à grande vitesse et il y a une transformation de l'énergie cinétique en énergie thermique. La température apparaît donc comme un paramètre susceptible de caractériser le niveau énergétique

I.1.1 Les différentes unités de température :

La température est une grandeur intensive, qui peut être mesurée de deux façons différentes : A l'échelle atomique, elle liée à l'énergie cinétique moyenne des constituants de la matière. Au niveau macroscopique, certaines propriétés des corps dépendant de la température (volume massique, résistivité électrique, etc....) peuvent être choisies pour construire des échelles de température.

2. notions de base sur le rayonnement et la température :

Les mesures de température

- Fièvre
- infection dans le corps humain: comme le SRAS, MERS
- Une élévation de la température du corps: la fièvre .
- Plusieurs types avec différents cathéter précision de l'artère pulmonaire pour mesurer la température corporelle de base Oral

Chapitre I: Généralité sur la thermométrie

Types de thermomètres

- axillaire (aisselle)
- rectale
- oreille (tympanique)
- Peau
- temporelle T



Figure I-1. Différents modèles de thermomètre

Chapitre I: Généralité sur la thermométrie

- Non-invasive
- compensée pour le changement de l'environnement
 - compensée à la température du corps
- Mesurer la température de la surface de la peau sur l'artère temporale T

Thermomètre auriculaire (Thermomètre infrarouge)

- Mesurer la chaleur infrarouge émise par le tympan et les tissus environnants
- Peut donner une température précise
- Le positionnement correct et la technique sont nécessaires
- incertitude typique: $\pm 0,2$: C
- Certains ne répondent pas aux spécifications
- la qualité de la couverture de la sonde peut affecter la précision
- Calibration: utiliser noir Imageur thermique Il est thermomètre médical Utilisé dans le dépistage des personnes pour la température corporelle élevée Bonne à déterminer si quelqu'un apparaît plus chaud ou plus froid que l'autre personne

3. les échelles de température :

3.1. Différentes échelles de températures

Depuis des siècles les hommes construisent des thermomètres afin de mesurer la température .la première date 1641, œuvre de Ferdinand II, grand duc de toscane.

Ces thermomètres sont gradués selon une échelle de température.

Il existe d'échelles : kelvin, Celsius, fahrenheit, newton, Réaumur, Rankine, Deliste, Römer.

Les principales utilisées actuellement sont les échelles Celsius, Fahrenheit, kelvin et Réaumur.

3.1.1.échelle fahrenheit

L'une des plus anciennes échelles de température a été imaginée en 1720 par le physicien allemand Gabriel fahrenheit.

Sur cette échelle, à la pression de 1 ATM (pression dite << normal >>) ? La température de congélation de l'eau est de 32°F et sa température d'ébullition est de 212°F.

Chapitre I: Généralité sur la thermométrie

3.1.2.échelle Celsius

L'échelle centésimale a été inventée par Carl Von Linné en 1743. Sur cette échelle, la température de congélation de l'eau est de 0°C température d'ébullition est de 100°C sous pression de 1ATM.

Parallèlement, l'échelle Celsius est introduite l'astronome suédois André Celsius, et correspond pratiquement à l'échelle centésimale .l'échelle Celsius est l'échelle de température utilisée dans la vie courante.

La température en Celsius (TC) est liée à la température en fahrenheit (TF) par la relation :

$$TF=32+1.8*TC$$

3.1.3.échelle kelvin

Inventée par le mathématicien physicien britannique S Ir William Thompson kelvin au XIXe siècle, l'échelle kelvin est couramment employée dans les domaines scientifiques.

Le kelvin (K) est l'unité du système international de température .sur terre, la température théorique la plus basse que l'on puisse approcher est le zéro absolu, à savoir 0 K, ou -273.15°C.

La température en kelvin (TK) est liée à la température en Celsius (TC) par la relation :

$$TK=273.15+TC$$

3.1.4. Echelle de Réaumur

L'échelle de Réaumur est une échelle de température conçue en 1731 par le physicien et inventeur français René-Antoine Ferchault de Réaumur (1683-1757), qui a calibré son thermomètre entre 0 et 80 : le pont de congélation de l'eau (valeur : zéro) et le point d'ébullition de l'eau (valeur : 80).

$$T Re = 0.8 TC \text{ donc } TC = 1.25 T Re$$

Chapitre I: Généralité sur la thermométrie

3.2.équivalences entre les diverses unités

Les règles de conversion entre l'échelle fahrenheit et Celsius

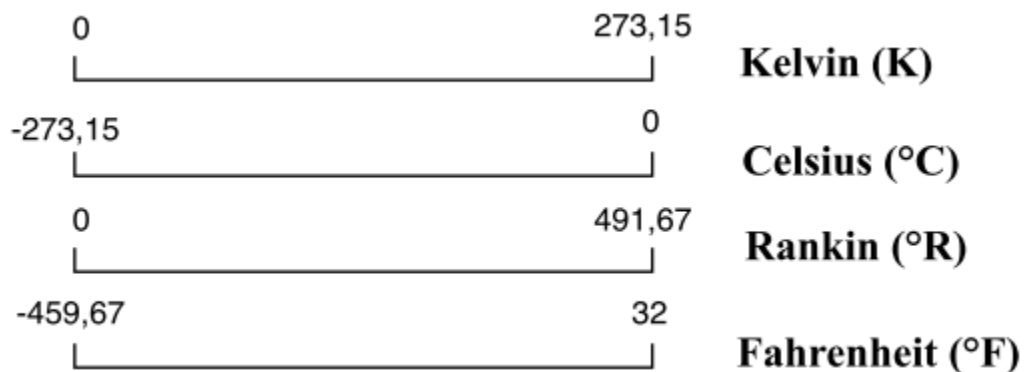
$$T (^{\circ}\text{F}) = 32 + 9 \times T (^{\circ}\text{C}) / 5 \text{ donc } T (^{\circ}\text{C}) = [T (^{\circ}\text{F}) - 32] \times 5 / 9$$

- La conversion entre l'échelle kelvin et Celsius

$$T(\text{K}) = T (^{\circ}\text{C}) + 273,15$$

- La conversion entre l'échelle Réaumur et Celsius

$$\text{Re} = 0,8^{\circ}\text{C} \text{ donc } ^{\circ}\text{C} = 1,25 \text{ Re}$$



températures	Échelles thermométriques			
	Kelvin (K)	Celsius (°C)	Rankin (°R)	Fahrenheit (°F)
Zéro absolu	0	- 273,15	0	- 459,67
Mélange eau-glace sous p.a.n	273,15	0	491,67	32
Point triple de l'eau	273,16	0,01	491,69	32,018
Ébullition de l'eau sous p.a.n	373,15	100	671,67	212

Figure I-2. Les échelles de température

4. la thermométrie

4.1. Définition du thermomètre :

Un thermomètre est un appareil qui sert à mesurer des températures. C'est le domaine d'étude de la thermométrie. Il détermine à quel point les objets sont chauds ou froids, le fonctionnement de celui-ci est basé sur la variation des propriétés physiques.

Le thermomètre est aussi un instrument mesurant l'énergie cinétique des particules.

4.2. Types de thermomètre :

La température intervient dans la plupart des phénomènes physiques et il est naturel qu'il existe un grand nombre de dispositifs susceptibles de fournir un repère de température. Nous distinguons quatre familles de thermomètres :

- ⊙ A dilatation.
- ⊙ A changement d'état.
- ⊙ Optique.
- ⊙ Electrique.

4.2.1. Thermomètres à dilatation de liquide

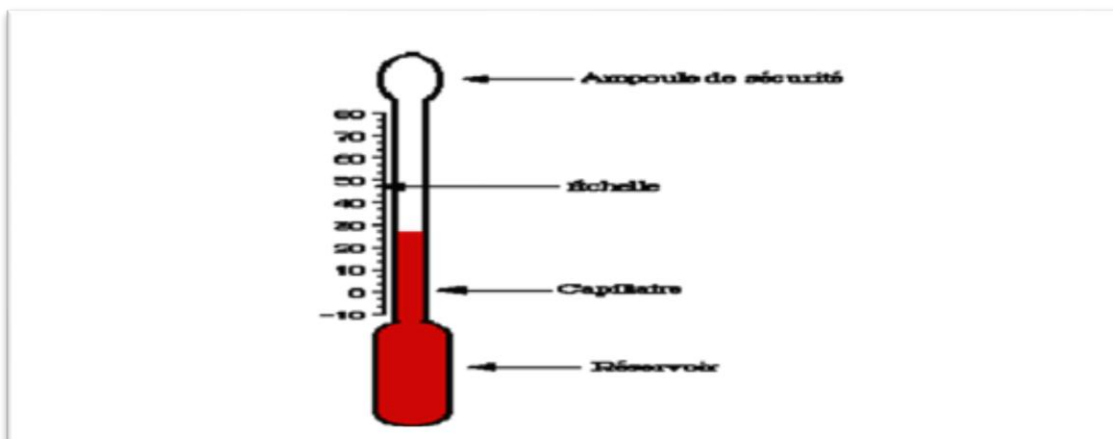


Figure 1.3 : thermomètre à dilatation de liquide.

Chapitre I: Généralité sur la thermométrie

Si dépassement de la limite en température. L'espace libre est rempli de gaz neutre (argon ou azote) pour empêcher. La colonne de liquide de se fractionner facilement.

❖ Grandeur thermométrique :

- Volume apparent du liquide contenu dans une enveloppe solide transparente (qui elle-même se dilate !)
- Loi de variation : $V_2 = V_1 (1 + \alpha_{vol} \cdot (q_2 - q_1))$
- α_{vol} :
 - Coefficient de dilatation thermique volumique = $10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
- Sensibilité :
 - $S = dV / dq$
 - $S = V_1 \alpha_{vol}$

La sensibilité est proportionnelle :

- Au volume V_1 du réservoir ;
- Au coefficient de dilatation du liquide (donc au type de liquide choisi)

❖ Critères de choix d'un thermomètre à dilatation de liquide :

- Longueur (colonne émergente)
- Volume du réservoir (sensibilité)
- Nature du liquide et du verre :
 - ✓ Domaine de température
 - ✓ Apparent : sensibilité

Chapitre I: Généralité sur la thermométrie

4.2.2. Thermomètres à dilatation de solide

❖ Grandeur thermométrique

- Longueur du solide (métal)
- Loi de variation : $L_2 = L_1 (1 + \beta_{lin} (q_2 - q_1))$
- β_{lin} : coefficient de dilatation thermique linéique $\sim 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} = \frac{1}{L} \frac{dL}{d\theta}$
- Sensibilité

- $S = dL / dq$
- $S = L_1 \beta_{lin}$
- D'où : critères de choix :
 - L_1 : longueur de métal
 - β_{lin} : Nature de métal

Dilatometre

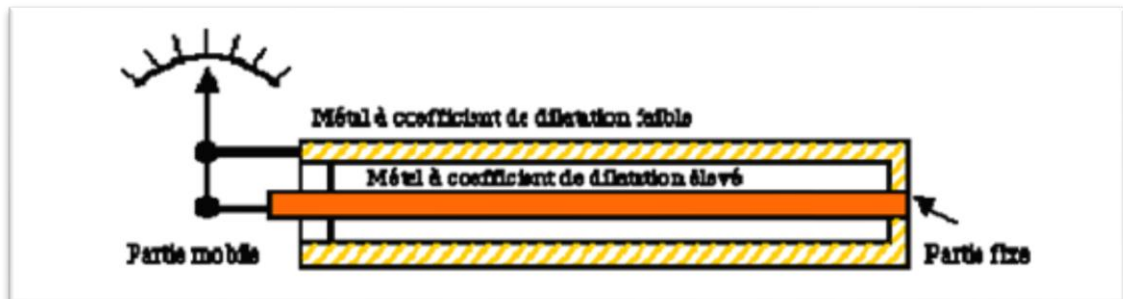


Figure 1.4 : dilatometre.

- Barreau métallique dilatable dans une gaine de silice.
- Une tige en invar (peu dilatable) transmet la dilatation du barreau à un système amplificateur permettant la lecture (ou la transmission)
- Très robuste : thermostats industriels
- Domaine de température : 200 K à 1000 K
- Précision :
 - 1K à 300 K
 - 10K pour des températures > 800 K

❖ Bilame



Figure 1.5 : bilame

- Deux bandes d'alliage dont les coefficients de dilatation sont très différents sont soudées à plat sur toute leur surface.
- Si la température augmente : courbure –contact électrique.
- Exemple de constitution :
 - Métal très dilatable : alliage de fer :
 - Métal peu dilatable : invar
- Utilisation :
 - Disjoncteurs thermiques
 - Phares clignotants
 - Régulation de températures
- Précision : 1K à 300 K 1/10 K à 700 K

4.2.3. Thermomètres à dilatation de gaz

❖ Grandeur thermométrique

- Ⓢ la pression
- Ⓢ loi de variation : équation d'un gaz parfait $PV = nRT$

Chapitre I: Généralité sur la thermométrie

- **n** : nombre de moles ;
- **R** = $8.314 \text{ Jmol}^{-1}\text{k}^{-1}$;
- **T** : température en K ;
- **P** = pression en Pa ;

Si on enferme une certaine quantité de gaz dans une enveloppe de volume constant V, la pression développée par le gaz est proportionnelle à la température absolue.

❖ Technologie

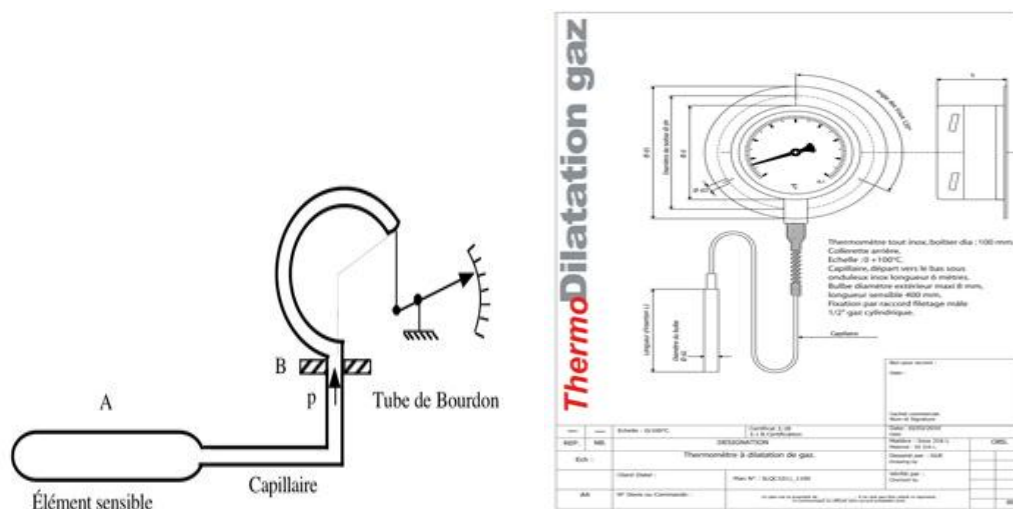


Figure I.6 : thermomètre à dilatation de gaz

- Le gaz doit être soigneusement séché avant l'emploi et être utilisé dans des conditions qui le rapprochent de l'état parfait.
- La différence de hauteur entre la sonde sensible et la spirale de mesure est sans effet, puisque la masse du gaz est négligeable.
- La longueur du capillaire ne doit pas excéder 100 mètres.
- Domaine d'utilisation : -200°C à 1400 °C
- Les gaz les plus employés :

- Hélium
- Hydrogéné
- Azote
- Dioxyde de carbone

Chapitre I: Généralité sur la thermométrie

4.2.4. Thermomètre électrique

Ces appareils sont constitués par un capteur susceptible de fournir une grandeur électrique dépendant de la température selon une loi connue on y distingue :

❖ Thermomètre à résistance

On utilise la variation de résistance d'un conducteur électrique en fonction de la température. Parmi ces thermomètres on trouve :

❖ Thermomètre à résistance métallique

Ces sont les plus répandus, les métaux sont le platine, le nickel, le cuivre, le thermomètre à résistance de platine sert à mesurer dans une échelle internationale portant de températures de point triple de l'hydrogène en équilibre (-25.9 ; 34°C)

❖ Thermomètre à résistance

Le conducteur électrique est un semi-conducteur dont la résistance décroît d'une façon exponentielle en fonction de la température. La disponibilité de la diode (semi-conducteur)

Au silicium et surtout leur réponse linéaire avec la température, nous avons poussé à l'exploiter afin de réaliser un capteur thermoélectrique.

4.2.5. Thermomètre optiques

Le thermomètre optique est basé sur l'utilisation de la loi de rayonnement des corps en

fonction de la température, la caractéristique importante de ces procédés est qu'il n'y a pas de contact direct du capteur avec le corps étudié. Dans cette famille on peut distinguer :

Chapitre I: Généralité sur la thermométrie

❖ **Pyromètre de rayonnement total :**

Le rayonnement issu du corps est reçu à l'intérieur de l'appareil par détecteur de température, généralement plusieurs thermocouples montés en série.

❖ **Pyromètre monochromatiques :**

On ne s'intéresse qu'à une bande étroite de spectre de rayonnement. Le capteur est alors un capteur optique sensible à cette bande de fréquence.

❖ **Thermomètre à semi-conducteurs :**

Les composants utilisés, diodes ou transistors au silicium montés en diodes (base et collecteur reliés), sont alimentés dans le sens direct à courant I constant : la tension V à leurs bornes, qui est en fonction de la température peut donc être la grandeur électrique de sortie du capteur de température qu'ils constituent (Figure I.6 et I.7).

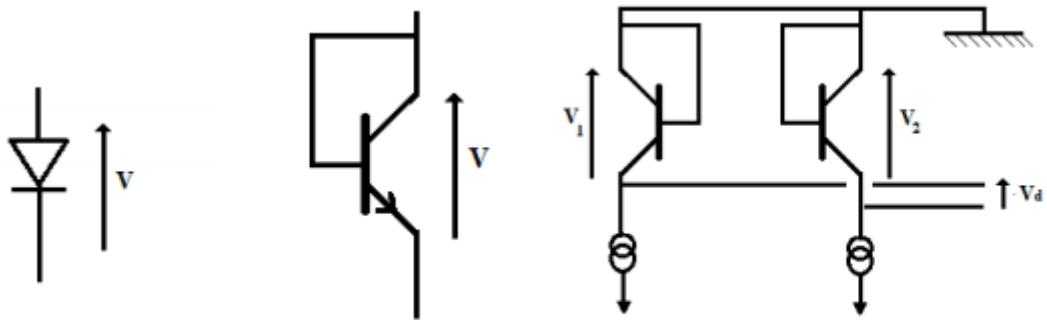


Figure I.6 : Diode.

Figure I.7 : transistor monté.

Figure I.8 : transistor appariés.

Chapitre I: Généralité sur la thermométrie

La sensibilité thermique S d'une diode ou d'un transistor monté en diode est définie par :

$$S = dV/dT$$

Sa valeur est voisine de $2.5\text{mV}/\text{C}^\circ$ mais elle n'a pas strictement indépendante de la température. En outre la sensibilité comme la tension V dépendant du courant inverse I_0 ; celui-ci pouvant varier de façon importante d'un composant à l'autre, l'interchangeabilité n'est assurée qu'en sélectionnant les composants ayant les caractéristiques recherchées identiques (même valeur de V pour un courant donné et même valeur de I_0).

Une amélioration natale de la linéarité et de L'interchangeabilité résulte de l'emploi de deux transistors appariés monté en diodes, parcourus par des courants I_1 et I_2 et dont on mesure la différence des tensions base-émetteur. Ceci permet d'éliminer l'influence du courant I_0 .

La sensibilité thermique de l'ensemble a pour expression :

$$S = d(V_1 - V_2)/dT$$

Soit numériquement : $S = 86,56 \cdot \text{LOG}(I_1/I_2)$ en $\mu\text{V} \cdot \text{K}^{-1}$

Les valeurs de cette sensibilité thermique sont généralement supérieures à celles des thermocouples et il n'est pas nécessaire de disposer d'une température de référence ; elles sont cependant inférieures à celles de résistances thermocouples associées à leur conditionneur.

L'évolution entre -50°C et $+150^\circ\text{C}$. Dans cette plage les capteurs ont une stabilité excellente.

Relation tension-température : Le courant I est lié à la tension V par la relation classique :

$$I = I_0 [\text{EXP}(qV/KT) - 1] \quad T \text{ en Kelvin}$$

En polarisation direct ($I \gg I_0$) se ramène à :

$$I = I_0 \cdot \text{EXP}(qV/KT)$$

Ou :

$$I_0 = C \cdot T^m \cdot \text{EXP}(-qV_0/KT)$$

Chapitre I: Généralité sur la thermométrie

$V\phi$: étant la hauteur de la bande interdite exprimée en volts, soit, pour le silicium : 1.12V.

m : est généralement voisin de 3.

C : est une constante indépendante de T mais dépendant de la géométrie de la jonction et des niveaux de piégeage.

D'après les relations précédentes on tire à tension V :

$$V = V\phi + (KT/q) \cdot \text{LOG } I - (KT/q) \cdot m \text{ LOG } T - (KT/q) \cdot \text{LOG } C$$

La constante C et le courant I peuvent être éliminés de l'expression précédente si l'on connaît la tension V_1 , pour un même courant I , mais à une température T_1 :

$$V = V_1 \cdot (T/T_1) + V\phi (1 - T/T_1) n + m \cdot (KT/q) \cdot \text{LOG } (T_1/T)$$

Cette expression qui n'est pas linéaire en température met en outre en évidence les termes qui déterminent l'interchangeabilité : la tension V pour $T=T_1$ et la valeur de m .

L'erreur de linéarité entre -20°C et $+150^\circ\text{C}$ d'un transistor MTS 102 (fabricant Motorola).

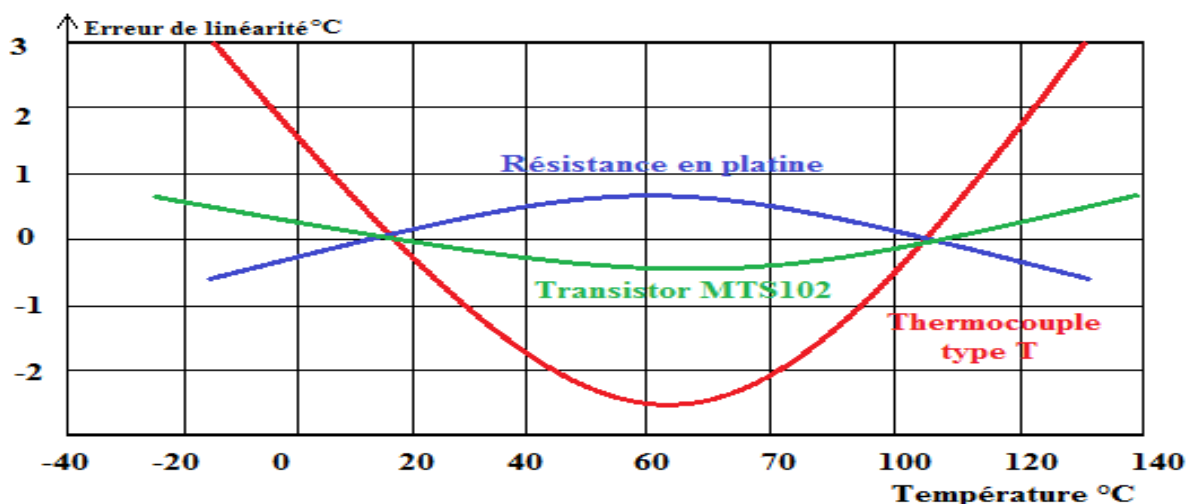


Figure I-9 : Comparaison de l'erreur de linéarité d'un transistor capteur de température de celle d'une résistance en platine et d'un thermomètre de type T.

Chapitre I: Généralité sur la thermométrie

Elle est composée aux erreurs de linéarité d'une résistance de platine et d'un thermocouple de type T : on y constate que la linéarité du transistor est aussi bonne que celle de la résistance de platine et très supérieure à celle du thermocouple.

Des équations précédentes, on tire facilement une expression de la sensibilité thermique :

$$dV/dT = (V_1 - V_0) 1/T_1 - mK/q [1 + \log T/T_1]$$

Ou, en fonction de V :

$$dV/dT = -m \cdot (K/q) + (V - V_0) \cdot (1/T)$$

Pour les transistors de la série MTS, le constructeur (Motorola) indique une expression numérique linéaire de l'équation précédente valable lorsque $V=600\text{mV}$ à 25°C .

$$dV/dT = -2.25 + 0.0033 (V-600) \quad \text{mV.K}^{-1}$$

❖ Tension différentielle de transistors appariés :

On utilise deux transistors Q_1 et Q_2 réalisés sur même substrat et qui ont donc même courant I_0 ; ils sont alimentés à courant constant I_1 et I_2 et leurs tensions base-émetteur sont V_1 et V_2 :

$$I_1 = I_0 \text{EXP}(qV_1/KT) \quad , \text{ soit : } V_1 = (KT/q) \cdot \text{LOG}(I_1/I_0)$$

$$I_2 = I_0 \text{EXP}(qV_2/KT) \quad , \text{ soit : } V_2 = (KT/q) \cdot \text{LOG}(I_2/I_0)$$

La mesure de la tension différentielle $V_d = V_1 - V_2$ permet d'éliminer l'influence de I_0 :

$$V_d = (KT/q) \cdot \text{LOG}(I_1/I_2) = (KT/q) \cdot \text{LOG } n$$

Chapitre I: Généralité sur la thermométrie

Ou n : est le rapport des courants constants numériquement on a :

$$V_d = 86.56 * T \text{ LOG } n \quad V_d \text{ en mV, } T \text{ en K}$$

Soit, pour $n=2$: $V_d = 59.73T$

La sensibilité thermique a pour expression :

$$S = dV_d/dT = K/q \cdot \text{LOG } n$$

Soit numériquement : $S = 86.56 * \text{LOG } n$ EN $\text{mV} \cdot \text{K}^{-1}$

La sensibilité thermique est réduite par rapport au montage à une seule diode ou transistor mais elle est en principe indépendante de T ; en fait la linéarité est très améliorée.

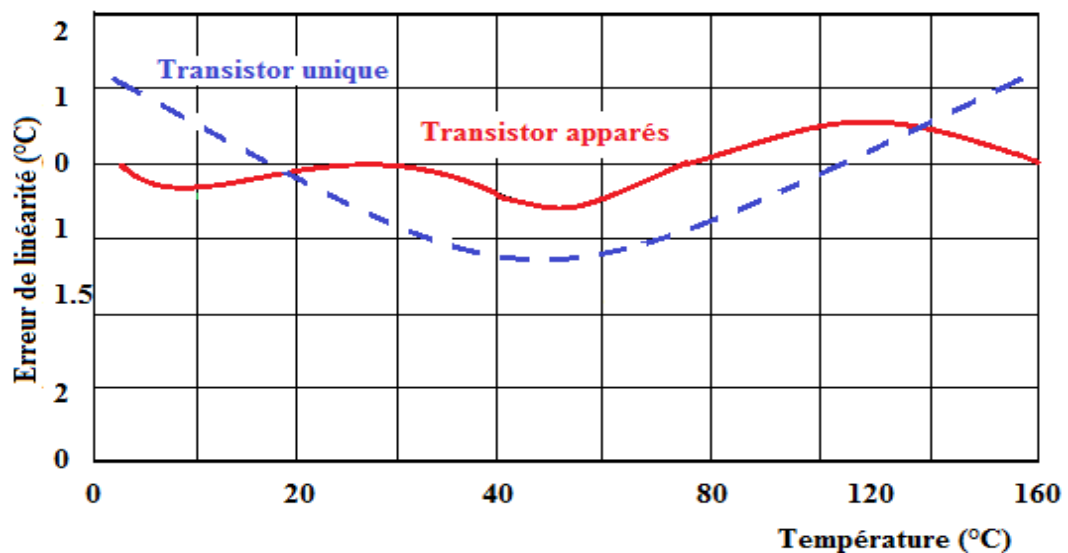


Figure I-9. Comparaison de linéarité de capteurs de température à transistors unique et à transistor appairer

Chapitre I: Généralité sur la thermométrie

Conclusion

Ce chapitre décrit les notions de thermométrie les différents types des thermomètres disponibles, et aussi il montre les relations entre les unités de la température.

Chapitre II :
Généralités
Sur les
capteurs
Et ses
caractéristiques
métrologiques

Chapitre II : Généralités sur les capteurs et ses caractéristiques métrologiques

Introduction :

Les capteurs sont définis comme étant des organes fournissant des signaux à partir d'une mesure d'une grandeur physique.

Vu que les grandeurs physiques intéressant l'industrie sont nombreuses, le nombre de capteurs leur correspondant devient important. De ce fait, il existe une multitude de détecteurs différents ayant chacun un rôle très précis à remplir.

Afin de permettre le choix du capteur correspondant à notre réalisation, on rappelle tout d'abord le principe de base qu'ils utilisent et leurs principales caractéristiques.

Définition d'un capteur :

Capteur : élément (dispositifs) qui sous l'effet du mesurande délivre un signal électrique contenant l'information que l'on veut mesurer

Les capteurs jouent un rôle très important dans divers domaines (physique, électronique, mécanique, etc....). Ils permettent en effet la mesure de phénomènes de toute nature agissant sur notre environnement et ceci en transformant ces grandeurs physiques non électriques en grandeurs électriques exploitables.

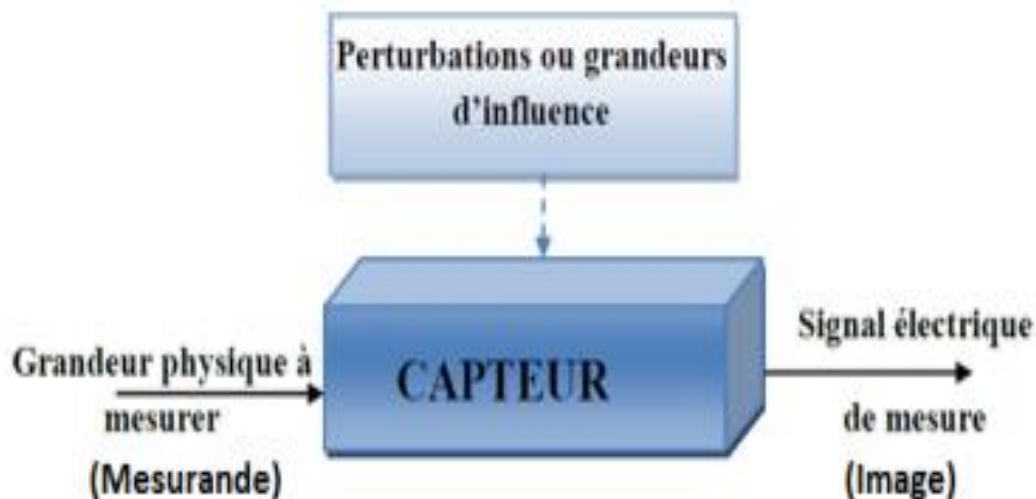


Figure II.1 : définition d'un capteur

La chaîne de mesure électronique :

Pour obtenir une image d'une grandeur physique, on fait appel à un capteur qui peut faire intervenir plusieurs phénomènes différents.

- ❖ transformation du débit en une pression différentielle.
- ❖ transformation de la pression différentielle en la déformation mécanique d'une membrane.
- ❖ transformation de la déformation mécanique en une grandeur électrique (à l'aide d'un piézo-électrique) via un circuit électronique associé.

Le capteur est ainsi le premier maillon (bloc) d'une chaîne de mesure, mesurant la mesure total d'une grandeur physique. La chaîne de mesure est donc constituée de plusieurs blocs assurant divers étapes.

L'ensemble de ces étapes constitue la chaîne de mesure :

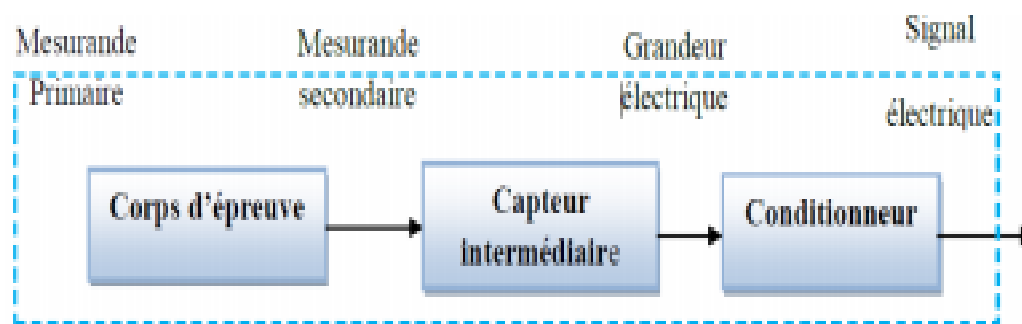


Figure II.2 : Constitution d'une chaîne de mesure classique

De manière classique la sortie d'une chaîne de mesure est du type électrique. Si la chaîne de mesure fait intervenir plusieurs transducteurs, on appelle corps d'épreuve celui en contact direct avec le mesurande.

Par définition, un corps d'épreuve est un transducteur (partie d'un capteur) qui permet la transduction d'une grandeur physique non exploitable en grandeur physique exploitable.

Le dernier transducteur est associé à un conditionneur qui fournit la grandeur électrique de sortie de manière exploitable. Le choix de ce conditionneur est une étape importante dans le cadre de la chaîne de mesure car, associé au capteur, il détermine la nature finale du signal électrique et va influencer les performances de la mesure.

Chapitre II : Généralités sur les capteurs et ses caractéristiques métrologiques

Les types de la chaîne de mesure :

1 La chaîne de mesure analogique : C'est l'ensemble de circuits assurant les tâches d'amplification, de linéarisation, de filtrage, de compensation thermique ou de traitement de bruit. Ce type de chaîne utilise la grandeur analogique dans son fonctionnement.

2 La chaîne de mesure numérique : C'est l'ensemble de circuits assurant les tâches de conversion analogique numérique, d'échantillonnage, de filtrage numériques, etc.... Ce type de chaîne utilise la grandeur numérique dans son fonctionnement et peuvent faire appel à des Capteurs intelligents (Smart sensors). Ce sont des capteurs qui renferment dans un même boîtier : le capteur, le conditionneur, le CAN et un microcontrôleur capable de communiquer avec d'autres dispositifs numériques (PC, automates, systèmes d'acquisition de données, ...).

Types de grandeur physique :

On peut classer les grandeurs physiques en 6 familles, chaque capteur s'associant à l'une de ces 6 familles :

- ✓ Mécanique : déplacement, force, masse, débit etc....
- ✓ Thermique : température, capacité thermique, flux thermique etc...
- ✓ Electrique : courant, tension, charge, impédance, diélectrique etc....
- ✓ Magnétique : champ magnétique, perméabilité, moment magnétique etc....
- ✓ Radiatif : lumière visible, rayons X, micro-ondes etc...
- ✓ Chimique : humidité, gaz, sucre, Horme, etc.....

Classification des capteurs :

On classifie les capteurs en deux grandes familles en fonction de la caractéristique électrique de la grandeur de sortie. Cette classification influe sur le conditionneur qui lui est associé

- ⊙ **Tout Ou Rien (TOR)** : Le signal logique ou Tout Ou Rien peut prendre deux valeurs (0 ou 1).
- ⊙ **Signal analogique** : Un signal analogique varie de façon continue dans le temps. Il peut prendre une infinité de valeurs dans une plage donnée.
- ⊙ **Signal numérique** : Un signal numérique est une suite d'informations logiques qui peuvent être transmises de deux manières différentes :
 - En série sur un bit.
 - En parallèle sur plusieurs bits.

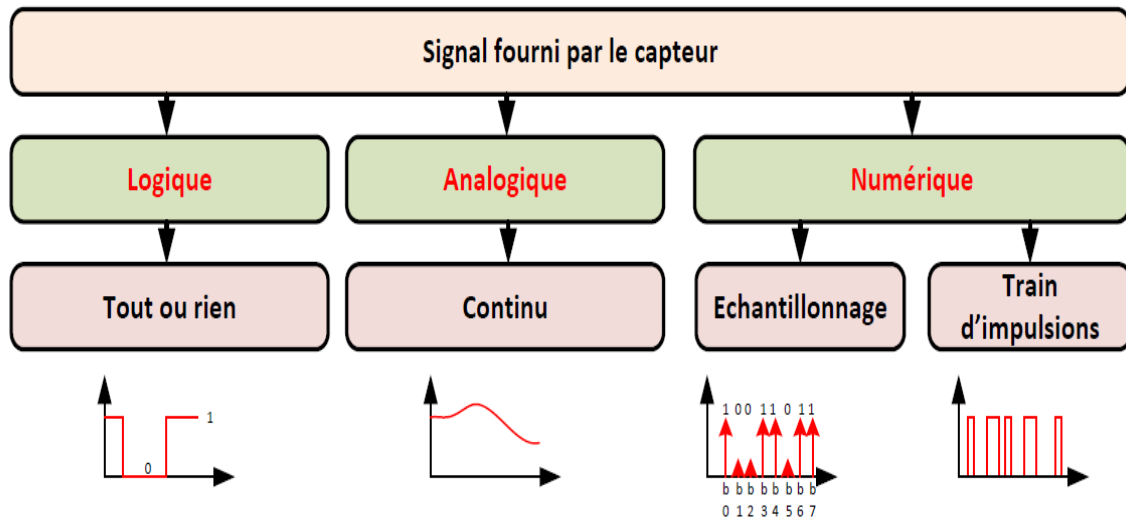


Figure II.3 : Nature de l'information du capteur.

1 -Capteurs actifs :

Le capteur actif travaille comme un générateur, il assure la conversion de toute forme d'énergie de grandeur d'entrée (thermique, mécanique, ...etc.) en énergie électrique. A titre d'exemple, on cite certains effets qui sont à l'origine de la conception de plusieurs capteurs actifs.

- ✓ Effet d'induction électromagnétique.
- ✓ Effet piézoélectrique.
- ✓ Effet thermoélectricité.
- ✓ Effet pyroélectricité.
- ✓ Effet photoélectricité.
- ✓ Effet hall.

1-Effet d'induction électromagnétique :

Lorsqu'un conducteur se déplace dans un champ magnétique, une différence de potentiel apparaît entre ses extrémités, on dit alors qu'une tension est induite dans le conducteur c'est la transformation de l'énergie mécanique en énergie électrique, ce principe de fonctionnement qu'utilise le tachygénérateur pour mesurer la vitesse angulaire d'un moteur peut être utilisé aussi pour mesurer la vitesse du vent ou d'un liquide, lorsque la rotation est effectuée par le vent ou le liquide.

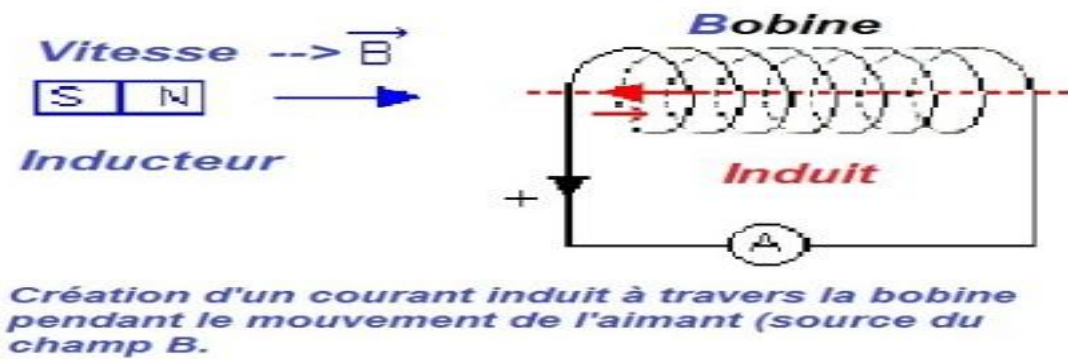


Figure II.4 : Effet d'induction électromagnétique.

2 -Effet piézoélectrique :

Soumis à des forces sur leurs surfaces, les matériaux piézoélectriques (quartz) entraînent l'apparition de charges électriques donc d'une DDP en fonction des forces appliquées.

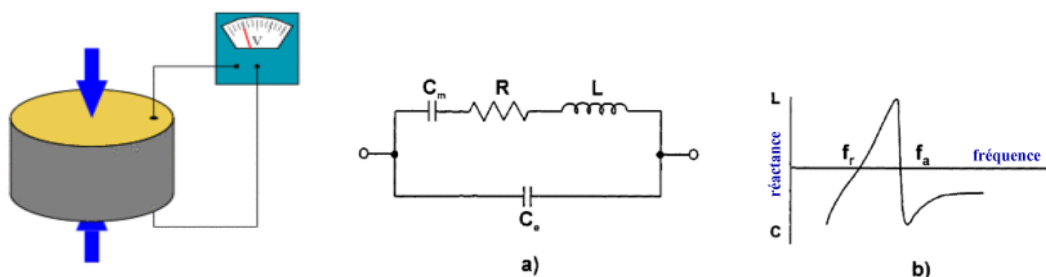


Figure II.5 : Effet piézoélectrique.

3- Effet thermoélectricité :

C'est le principe de tout thermocouple. C'est un circuit constitué de deux conducteurs de nature chimique différente et dont les jonctions sont à des températures différentes T_1 et T_2 . Il apparaît aux bornes de ce circuit une tension (force électromotrice) liée à la différence de température (T_1-T_2).

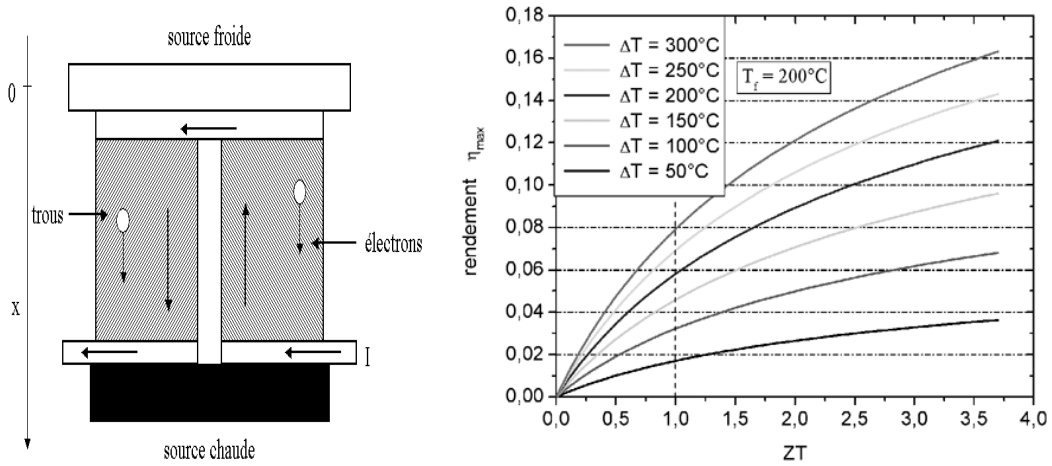


Figure II.6 : Effet thermoélectricité

4-Effet pyroélectricité :

Les cristaux pyroélectriques entraînent une modification de leur polarisation lorsque leur température est modifiée par une absorption d'un flux lumineux.

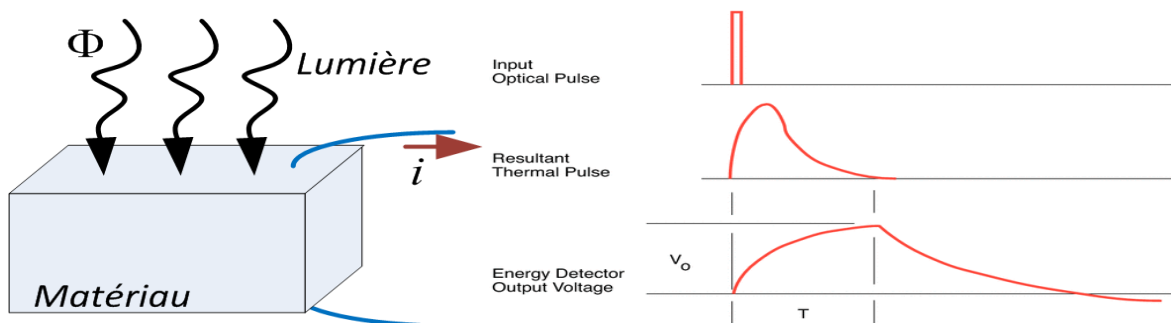


Figure II.7 : Effet pyroélectricité

5- Effet Photoélectricité :

Sous l'influence d'un rayonnement lumineux, le matériau libère des charges électriques et celles-ci en fonction du rayonnement.

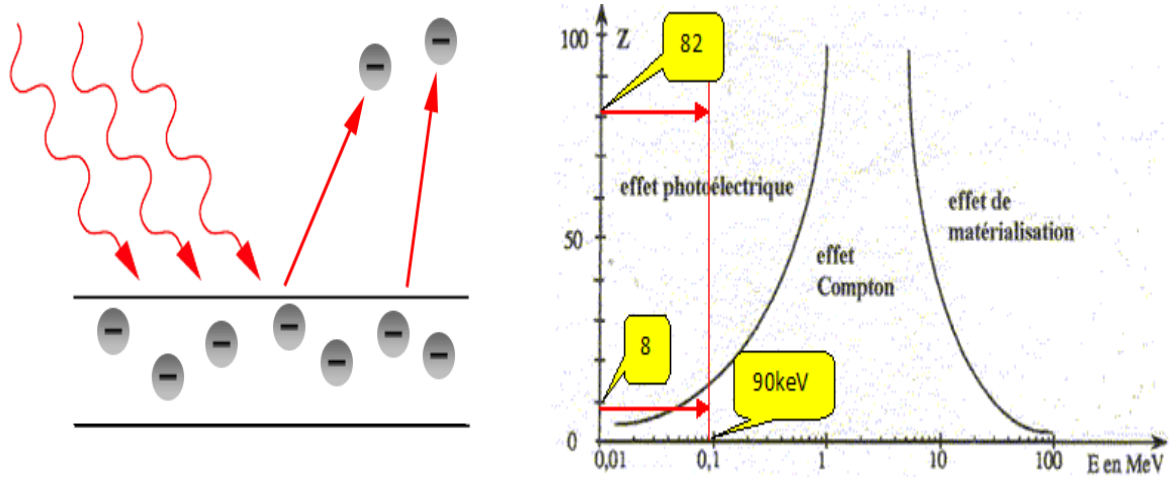


Figure II.8 : Effet photoélectricité.

6- Effet Hall :

Un semi-conducteur de type parallélépipède rectangle, placé dans une induction B et parcouru par un courant I, voit l'apparition, dans la direction perpendiculaire au courant et à l'induction, d'une différence de potentiel qui a pour expression :

$$U_H = K_H \cdot I \cdot B \cdot \sin \theta$$

K_H est fonction du matériau, θ est l'angle entre I et B.

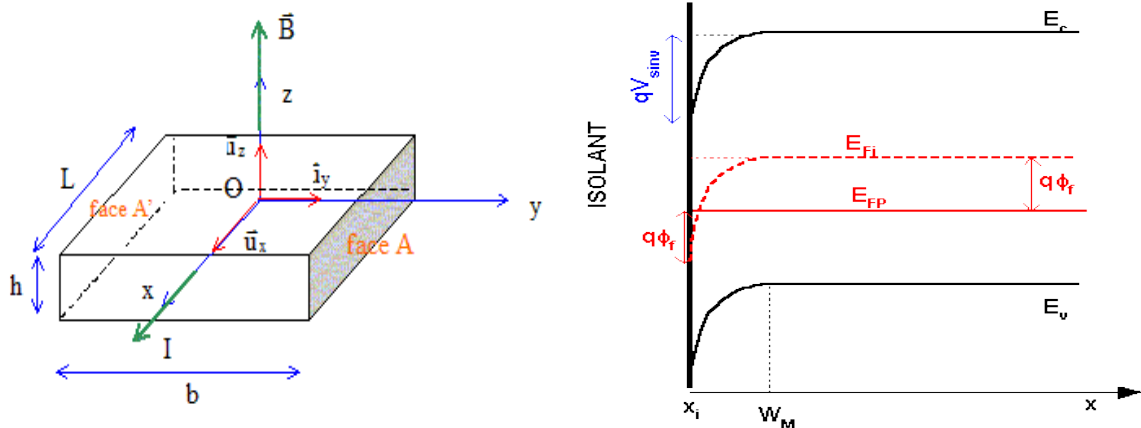


Figure II.9 : Effet Hall.

2-Capteurs passifs :

Le capteur passif, consiste à obtenir à partir d'une variation de la grandeur d'entrée une variation paramétrique d'une résistance, d'une inductance ou d'une capacité. Ces variations ne peuvent pas être mesurées sans la présence d'une source extérieure qu'on appelle souvent le conditionneur.

1-Capteurs à résistance:

Les capteurs à résistance transforment la grandeur d'entrée, tel que le déplacement mécanique, les forces, les efforts, la pression...etc, en une variation de la résistance. Les figures II-10 et II-11 représentent une forme schématique des exemples sur les capteurs à résistance.

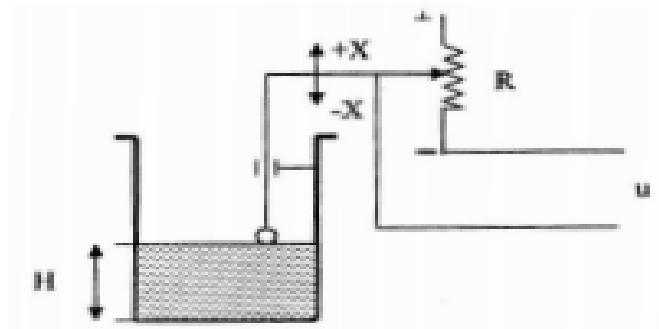


Figure II.10 : Capteurs à résistance (variation du liquide)

La variation du niveau du liquide (H), entraîne le déplacement du curseur du potentiomètre R (variation de la résistance).

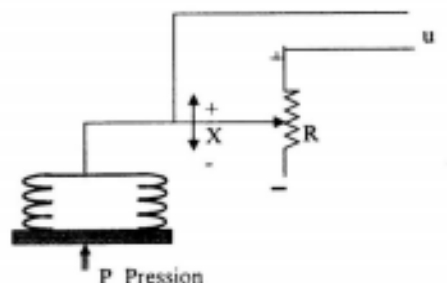


Figure II.11: Capteurs à résistance (variation de pression)

La figure (II.11) représente la variation de la pression P qui entraîne la déformation du soufflet. Cette dernière met en déplacement le curseur du potentiomètre R (variation de la résistance).

2-Capteurs capacitifs :

Dans un capteur capacitif, la variation de la grandeur d'entrée entraîne une variation proportionnelle de la capacité du condensateur.

La capacité d'un condensateur plan est donnée par la relation suivante :

$$C = \frac{\epsilon S}{d} = \frac{\epsilon_1 \epsilon_2}{d} (2.1)$$

Avec :

ϵ_0 : Permittivité absolue.

ϵ_2 : Permittivité du milieu.

S : Surface des plaques (section).

d : La distance entre les armatures.

La variation de distance entre les armatures : le condensateur est destiné à la traduction de déplacements rectilignes ; il est inséré dans un montage en pont. Pour $dI=0$, le pont est équilibré : $V_s=0$.

Pour un déplacement dI de l'armature mobile, la tension de sortie V_s est proportionnelle à dI

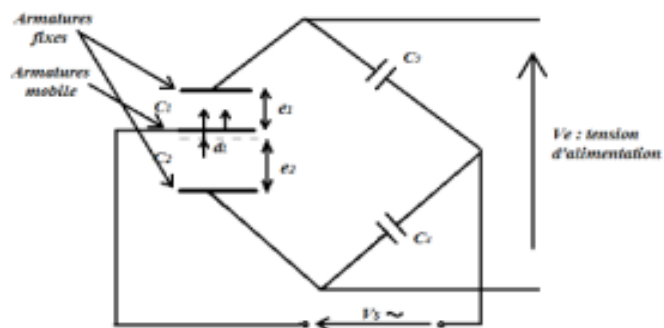


Figure II. 12: Capteur capacitif.

3-Capteurs inductifs :

D'une manière analogue, le capteur inductif transforme la grandeur d'entrée en une variation de la résistance inductive figure (2.13).

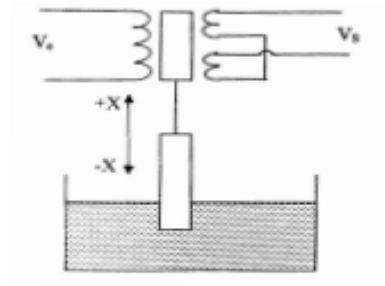


Figure II.13 : Capteur inductif.

CARACTERISTIQUES METROLOGIQUES D'UN CAPTEUR :

1. Etendue de la mesure :

Elle définit la zone dans laquelle les caractéristiques du capteur sont assurées par rapport à des spécifications données. On peut classer cette zone en trois familles :

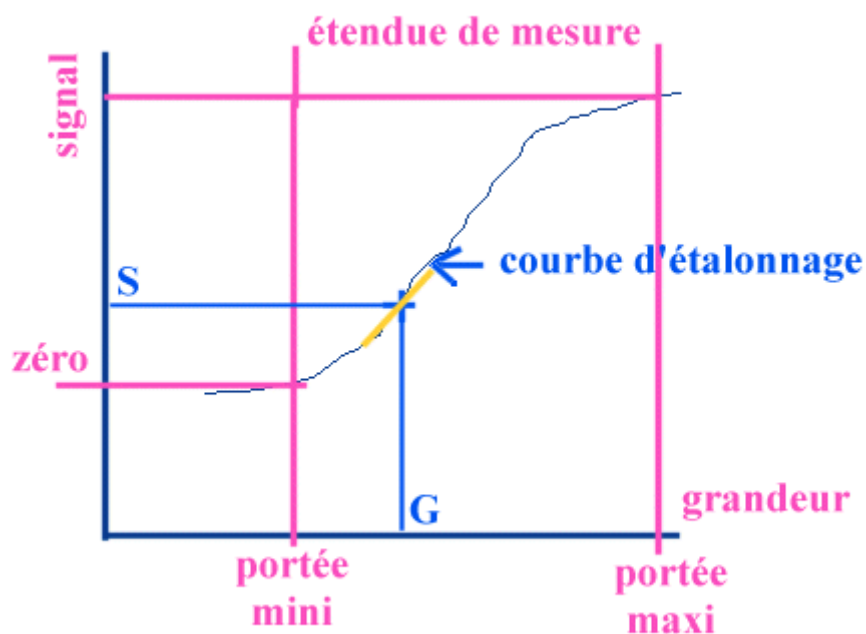


Figure II.14 : Courbe d'étalonnage du capteur

3.1.1. Zone nominale d'emploi :

Zone dans laquelle le mesurande peut évoluer sans modification des caractéristiques du capteur.

3.1.2. Zone de non-détérioration :

Valeurs limites des grandeurs influençant le capteur (mesurande, température, environnement, etc...) sans que les caractéristiques du capteur ne soient modifiées après l'annulation de surcharges éventuelles.

Chapitre II : Généralités sur les capteurs et ses caractéristiques métrologiques

3.1.3. Zone de non-destruction :

Elle définit les limites garantissant la non-destruction du capteur mais dans laquelle il peut y avoir des modifications permanentes des caractéristiques du capteur.

3.2. Résolution :

Elle correspond à la plus petite variation du mesurande que le capteur est susceptible de détecter.

Elle donne la relation d'évolution de la grandeur de sortie en fonction de la grandeur d'entrée. Elle est donnée classiquement par une courbe en régime permanent. Elle ne donne pas d'informations sur les caractéristiques transitoires du capteur.

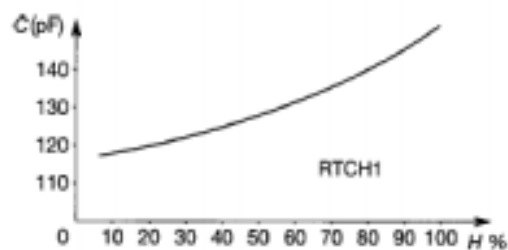


Figure II.15: Exemple de caractéristique d'un capteur d'humidité du type capacitif

3.4. Sensibilité

Elle détermine l'évolution de la grandeur de sortie en fonction de la grandeur d'entrée en un point donné. C'est la pente de la tangente à la courbe issue de la caractéristique du capteur. Dans le cas d'un capteur linéaire, la sensibilité du capteur est constante.

$$\text{Sensibilité} = d(\text{Grandeur de sortie})/d(\text{mesurande})$$

3.5. Finesse

C'est la qualité d'un capteur à ne pas venir modifier par sa présence la grandeur à mesurer. Cela permet d'évaluer l'influence du capteur sur la mesure. On la définit non seulement vis-à-vis du capteur mais aussi vis-à-vis de l'environnement d'utilisation du capteur.

Par exemple, dans le cas d'une mesure thermique, on cherchera un capteur à faible capacité calorifique vis-à-vis des grandeurs l'environnant.

Pour un capteur d'induction B , un capteur à forte perméabilité sera très sensible, par contre sa présence aura tendance à perturber les lignes de champ et la mesure de l'induction ne sera pas celle sans capteur, d'où une mauvaise finesse. Mais cette erreur peut être évaluée en vue d'une correction post-mesure et ainsi faire abstraction de la présence du capteur.

3.6. Linéarité

Zone dans laquelle la sensibilité du capteur est indépendante de la valeur du mesurande. Cette zone peut être définie à partir de la définition d'une droite obtenue comme approximation au mieux la caractéristique réelle du capteur, par exemple par la méthode des moindres carrés.

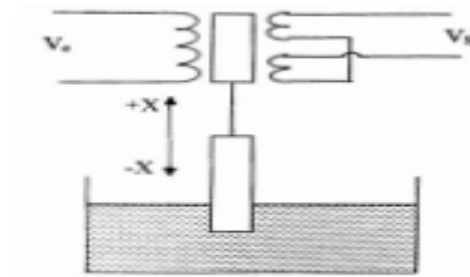


Figure II.16 : Caractéristique statistique d'un capteur

Ces paramètres permettent de prendre en compte la notion d'erreurs accidentelles qui peuvent survenir sur un capteur.

Rappel : soit n mesures effectuées sur un mesurande, on définit à partir de ces n mesures :

- La valeur moyenne : $\langle m \rangle = \sum m_i / n$
- L'écart type (dispersion des résultats autour de la valeur moyenne) :

$$\delta = \sqrt{(\sum (m_i - \langle m \rangle)^2) / (n - 1)}$$

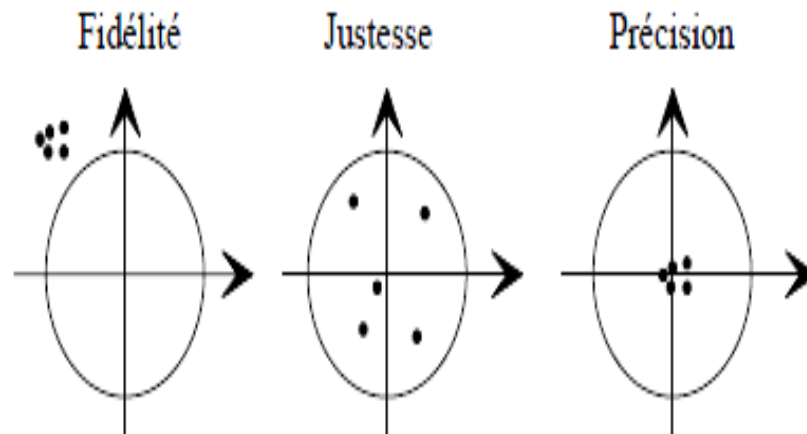


Figure II-17 : Les caractéristiques statiques d'un capteur

3.7.1. Fidélité :

Elle définit la qualité d'un capteur d'un capteur à délivrer une mesure répétitive sans erreurs. L'erreur de fidélité correspond à l'écart type obtenu sur une série de mesures correspondant à un mesurande constant.

3.7.2. Justesse :

C'est l'aptitude d'un capteur à délivrer une réponse proche de la valeur vraie et ceci indépendamment de la notion de fidélité. Elle est liée à la valeur moyenne obtenue sur un grand nombre de mesures par rapport à la valeur réelle.

3.7.3. Précision :

Elle définit l'écart en % que l'on peut obtenir entre la valeur réelle et la valeur obtenue en sortie du capteur. Ainsi un capteur précis aura à la fois une bonne fidélité et une bonne justesse.

3.8. Rapidité :

C'est la qualité d'un capteur à suivre les variations du mesurande. On peut la chiffrer de plusieurs manières :

- ❖ Bande passante du capteur. (à -3 dB par exemple).
- ❖ Fréquence de résonance du capteur.
- ❖ Temps de réponse (à x%) à un échelon du mesurande.

3.9. L'hystérésis :

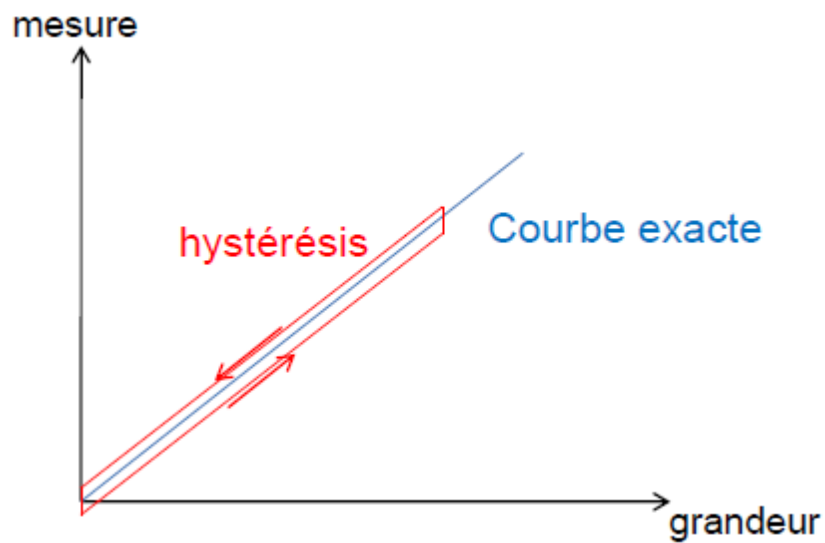


Figure II-18 : Courbe d'erreur d'hystérésis

Lorsque les courbes de transfert du capteur pour une variation croissante et décroissante de la grandeur physique ne sont pas identiques, on parle d'une erreur due à l'hystérésis du capteur. Cette erreur est exprimée en pourcentage par rapport à l'étendue de mesure.

Qu'est-ce que la température ?

Qualitativement, la température d'un objet détermine la sensation de chaud ou de froid ressentie en le touchant. Plus spécifiquement, la température est une mesure de l'énergie cinétique moyenne des particules d'un échantillon de matière, exprimée en unités de degrés sur une échelle standard.

II. Choix du capteur de température :

- 1- A partir des documents suivants (extrait de la documentation technique des composants), déterminer :
 - ✓ La nature du composant.
 - ✓ La gamme des températures pouvant être mesurées.
 - ✓ Le temps de réponse du composant.

- 2- En déduire le capteur correspondant à nos contraintes de mesure.

Capteur LM 35 :

Le capteur de température LM35 est un capteur analogique de température fabriqué par [Texas Instruments](#). Il est extrêmement populaire en électronique, car précis, peu coûteux, très simple d'utilisation et d'une fiabilité à toute épreuve.

Le capteur de température LM35 est capable de mesurer des températures allant de -55°C à +150°C dans sa version la plus précise et avec le montage adéquat, de quoi mesurer n'importe quelle température.

N.B. : Les versions grand publiques sont capables de mesurer des températures comprises entre -40°C et +110°C.

La sortie analogique du capteur est proportionnelle à la température. Il suffit de mesurer la tension en sortie du capteur pour en déduire la température. Chaque degré Celsius correspond à une tension de +10mV.

Chapitre II : Généralités sur les capteurs et ses caractéristiques métrologiques

Dans ce tutoriel, nous étudierons deux montages : un très simple permettant de mesurer des températures positives uniquement (de 2°C à 110°C) et un second plus complexe permettant de mesurer des températures de -40°C à +110°C.

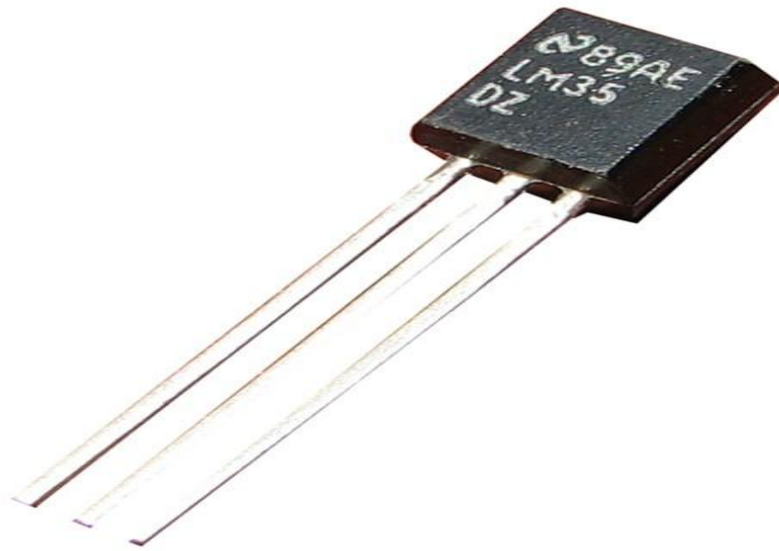


Figure II.21 : capteur LM35

Le capteur LM35 supporte des températures assez extrêmes (jusqu'à -55°C / +150°C), mais il n'en est pas de même pour les cartes Arduino.

Si vous soumettez une carte Arduino "classique" à ces températures extrêmes, elle va purement et simplement cesser de fonctionner ou se dégrader très rapidement. Cela est valable pour les cartes Arduino, mais aussi pour tous autres circuits électroniques fabriqués suivant les standards "grand public" (et non "industriels").

Pour information, [les gammes de températures classiques en électronique](#) sont les suivantes :

- ◆ *grand public* : 0°C ~ 70°C
- ◆ *industrie* : -40°C ~ 85°C
- ◆ *militaire* : -55°C ~ 125°C

Symbole LM35 :

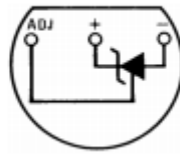


Figure II.22 : symbole du capteur LM35.

Brochage du capteur (LM35) :

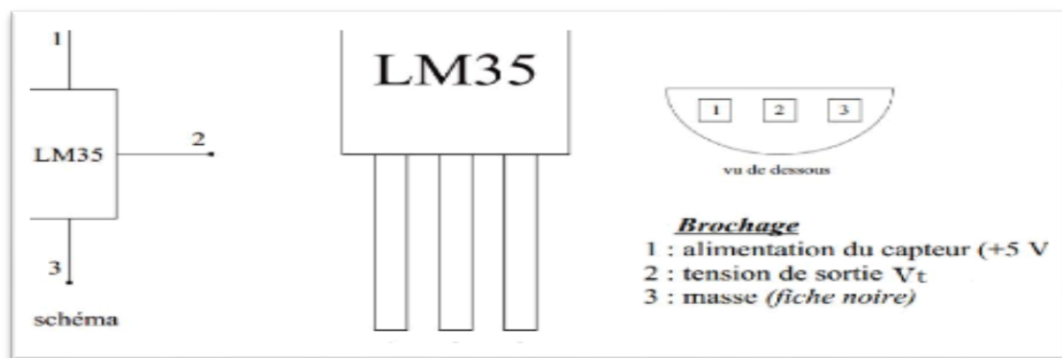


Figure II.23 : Brochage du LM 35.

Conclusion :

Dans ce chapitre on a fait une étude détaillée sur les capteurs en général puis une description du capteur de température utilisée pour la réalisation de notre projet.

Chapitre III :

LES

DIFFERENTES OUTILS

DE DEVELOPPEMENT

D'UN

THERMOMETRE

DIGITAL.

Chapitre III :

Les différents outils électroniques de développement du thermomètre digital

1. Introduction :

Dans ce chapitre on va présenter les outils permettant le développement des différentes parties de ce projet qui est illustré dans la figure suivante :

2. Amplificateur opérationnel :

2.1. Définition :

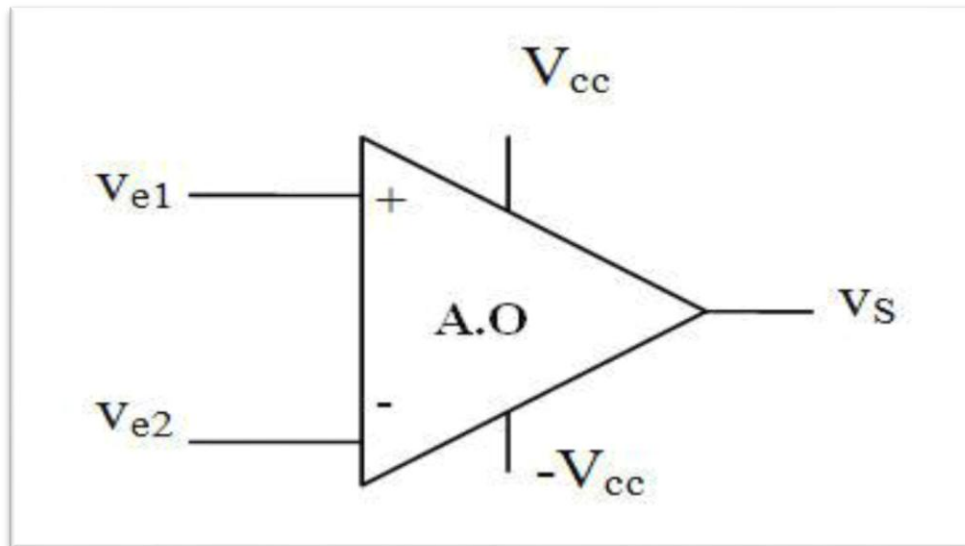


Figure III-1 : Symbole d'un AOP.

Un amplificateur opérationnel est un amplificateur différentiel : c'est un amplificateur électronique qui amplifie une différence de potentiel électrique présente à ses entrées. Il a été initialement conçu pour effectuer des opérations mathématiques dans les calculateurs analogiques : il permettait de modéliser les opérations mathématiques de base comme l'addition, la soustraction, l'intégration, la dérivation et d'autres. Par la suite, l'amplificateur opérationnel est utilisé dans bien d'autres applications comme la commande de moteurs, la régulation de tension, les sources de courants ou encore les oscillateurs^{4, 5, 6, 7}.

Chapitre III :

Les différents outils électroniques de développement du thermomètre digital

2.2 Brochage :

2.2.1 -Brochage théorique d'un AOP :

Un AOP dispose typiquement de deux entrées, deux broches d'alimentation et une sortie. L'entrée notée $e+$ est dite non-inverseuse tandis que l'entrée $e-$ est dite inverseuse, ceci en raison de leur rôle respectif dans les relations entrée/sortie de l'amplificateur. La différence de potentiel entre ces deux entrées est appelée tension différentielle d'entrée. La broche d'alimentation positive repérée V est parfois aussi appelée V_+ , V , ou V_{S+} . La broche d'alimentation négative repérée V est parfois aussi appelée V_+ , V , ou V_{S-} . Le caractère doublé qui se trouve en indice de la lettre V fait référence au nom de la broche du transistor à laquelle cette alimentation sera généralement reliée¹⁷. Ainsi, les appellations $V\{CC\}$ et $V\{EE\}$ sont généralement réservées aux AOP bipolaires (C pour Collecteur et E pour Émetteur) tandis que les appellations $V\{DD\}$ et $V\{SS\}$ sont généralement réservées aux AOP à effet de champ (D pour Drain et S pour Source).

Suivant les applications, l'AOP peut aussi être doté de deux broches pour la compensation d'offset ainsi que d'une broche pour le réglage de la compensation fréquentielle. Il existe des AOP possédant une sortie différentielle. De tels amplificateurs possèdent deux broches de sorties ainsi que quatre broches d'alimentation afin de pouvoir réaliser une isolation galvanique entre l'entrée et la sortie. Ces amplificateurs sont aussi appelés « amplificateurs d'isolement ».

2.2 - Amplificateur opérationnel parfait :

2.2.1 - Caractéristique entrée sortie d'un amplificateur opérationnel parfait :

La notion d'amplificateur opérationnel parfait ou idéal permet de raisonner sur le fonctionnement théorique de l'amplificateur opérationnel en s'affranchissant des phénomènes parasites et des limitations inhérents à la réalité technologique des composants. Les progrès réalisés depuis les premiers AOP tendent, par l'amélioration constante des performances, à se rapprocher du modèle de l'AOP parfait.

L'amplificateur opérationnel parfait possède une impédance d'entrée, un gain en mode différentiel, une vitesse de balayage et une bande passante infinies alors que son gain de mode commun et sa résistance de sortie sont nuls. De plus, il n'a pas de tension d'offset ni de courant de polarisation^{18, 19}.

En réalité le gain différentiel d'un amplificateur opérationnel varie fortement en fonction de la fréquence, il est courant de le considérer comme infini afin de simplifier les calculs¹⁸. Il est aussi possible de considérer le gain d'un amplificateur opérationnel comme étant celui d'un intégrateur pur²⁰ afin de se rapprocher du comportement réel de l'amplificateur.

Chapitre III :

Les différents outils électroniques de développement du thermomètre digital

Ces caractéristiques traduisent le fait que l'amplificateur opérationnel parfait ne perturbe pas le signal qu'il va amplifier et que sa tension de sortie dépend uniquement de la différence de tension entre ses deux entrées.

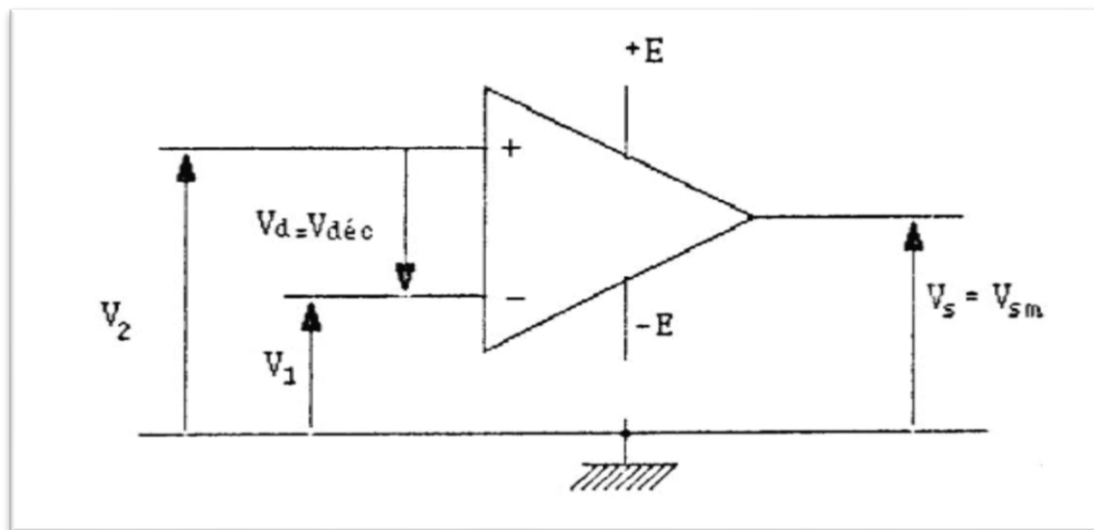


Figure III-2. : La tension de claquage d'un AOP.

- ✓ La présence d'un gain différentiel infini implique que la moindre différence de potentiel entre les deux entrées de l'amplificateur l'amènera à saturer.
- ✓ Si l'on ne désire pas que la tension de sortie de l'amplificateur soit uniquement limitée à $\pm V_{sat}$ suivant le signe de la différence de potentiel entre les deux entrées de l'amplificateur, l'utilisation d'une contre-réaction négative est obligatoire.
- ✓ La contre-réaction sur l'entrée inverseuse (ou contre-réaction négative) d'un AOP permet de soustraire une partie du signal de sortie au signal d'entrée de l'amplificateur. Grâce à cette soustraction, la contre-réaction négative permet de garder une différence de potentiel nulle en entrée de l'amplificateur. On parle alors de mode linéaire car on peut faire varier la tension de sortie entre + et - V_{sat} suivant la tension appliquée en entrée de l'amplificateur.
- ✓ L'absence de contre-réaction ou une contre-réaction sur l'entrée non-inverseuse (ou réaction positive) de l'AOP amènera l'amplificateur en saturation positive ou négative suivant le signal appliqué en entrée. On parle alors de mode comparateur (ou saturé).

Chapitre III :

Les différents outils électroniques de développement du thermomètre digital

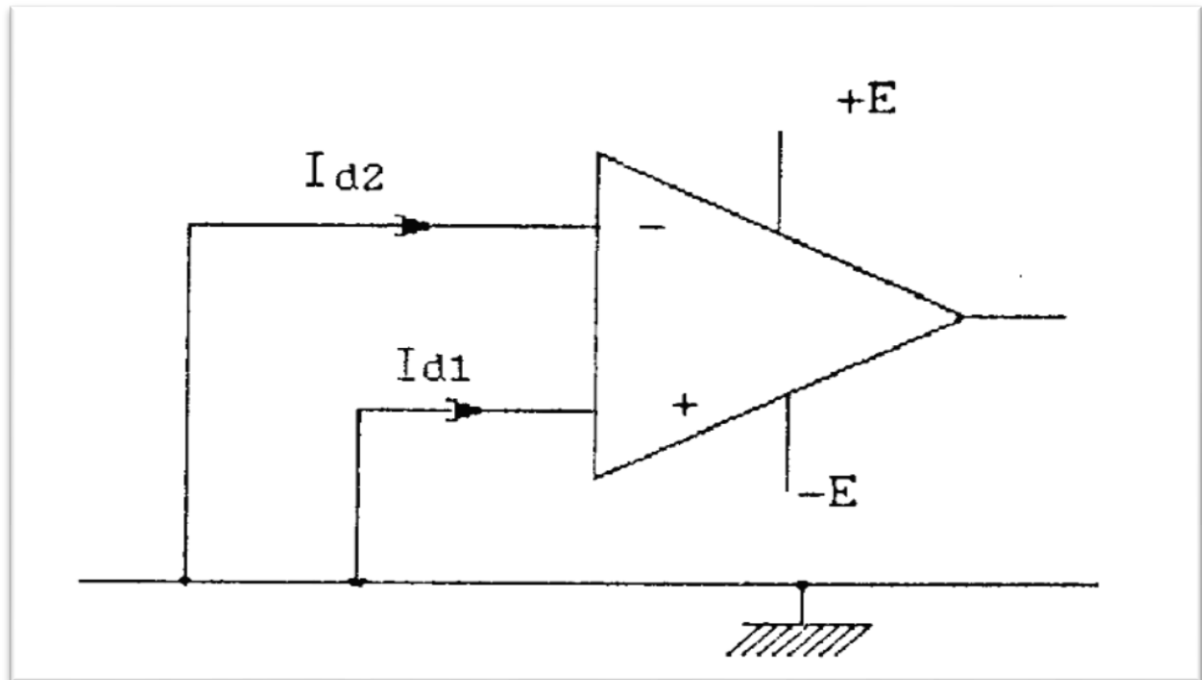


Figure III-3 : Le courant de décalage.

2.2 -Caractérisation réelle d'un AOP :

Le gain différentiel G_{diff} d'un AOP réel est fini et varie en fonction de la fréquence. Pour un AOP compensé, la variation en fréquence du gain différentiel peut être assimilée à celle d'un système passe-bas du premier ordre dont le produit gain-bande passante est constant²¹:

$$G = \{G_0\{1+j\{f\}\{f_1\}\}}$$

- ◆ Avec G_0 le gain continu et f_1 , la fréquence de coupure à 3 dB. Le gain G_0 vaut généralement entre 100 et 130 dB pour un AO de précision et entre 60 et 70 dB pour un AO rapide¹⁹. Pour les applications nécessitant une bande passante plus importante, il existe des AOP sous-compensés ou, plus rarement, non compensés.

Chapitre III :

Les différents outils électroniques de développement du thermomètre digital

- ◆ Pour ces amplificateurs, le constructeur précise le gain minimal pour lequel l'AOP reste inconditionnellement stable (pour plus d'informations, se référer au paragraphe compensation fréquentielle).
- ◆ La tension de sortie d'un AOP ne dépend pas uniquement de la différence de tension entre ces deux entrées, elle dépend aussi de la moyenne de ces deux entrées (ou tension de mode commun).

La relation entrée sortie d'un AOP s'établit ainsi :

$$V_{\{s\}} = G_{\{diff\}} (V_{\{e^+\}} - V_{\{e^-\}}) + G_{\{mc\}} \{V_{\{e^+\}} + V_{\{e^-\}}\} / 2$$

Avec G_{mc} , le gain en mode commun. Afin de définir la capacité de l'amplificateur à rejeter le mode commun, on définit le taux de réjection du mode commun (TRMC) :

$$TRMC = \{G_{\{diff\}}\} / \{G_{\{mc\}}\}$$

Le TRMC en continu varie entre 70 et 130 dB suivant l'amplificateur¹⁹, mais il diminue fortement avec l'augmentation de la fréquence et est aussi dépendant des tensions d'alimentation.

Chapitre III :

Les différents outils électroniques de développement du thermomètre digital

2.5- quelque montage de base d'amplificateur opérationnel :

2.5.1. Amplificateur de tension non-inverseur :

- **Schéma :**

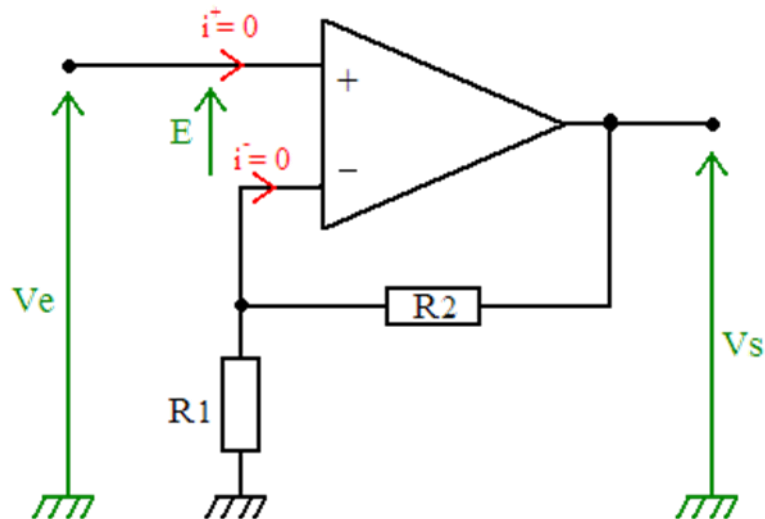


Figure III-4 : Amplificateur non inverseur.

- **Formule :**

$$V_s = (1 + R_2/R_1) * V_e$$

Remarque :

- ✓ L'amplitude de V_s est supérieure à celle de V_e (c'est pour cela qu'il est "non-inverseur")

- ✓ La résistance en entrée du montage est infinie. Donc le courant d'entré est nul.

Chapitre III :

Les différents outils électroniques de développement du thermomètre digital

Comment calculer V_s en fonction de V_e :

Avec ce montage non-inverseur on est dans une application linéaire de l'AOP que nous considérons comme parfait, on peut donc dire que $E = 0V$. Ainsi, on peut en déduire que $V_+ = V_-$. Maintenant, on va essayer de déterminer les valeurs de V_+ et de V_- de ce montage amplificateur non-inverseur. Pour calculer V_- , il faut connaître la formule du diviseur de tension, ce qui permet de donner l'équation suivante :

$$V_- = V_s * (R1 / (R1 + R2))$$

Comme l'ont saisi que $V_+ = V_-$, on peut ainsi dire:

$$V_e = V_s * (R1 / (R1 + R2))$$

En transformant cette équation (en passant les R de l'autre côté de l'égalité), on en déduit la formule finale de l'amplificateur non-inverseur:

$$V_s = V_e * ((R1 + R2) / R1)$$

Qui peut s'écrire aussi sous cette forme:

$$V_s = (1 + R2/R1) * V_e$$

2.5.2. Amplificateur de tension inverseur

- **Schéma :**

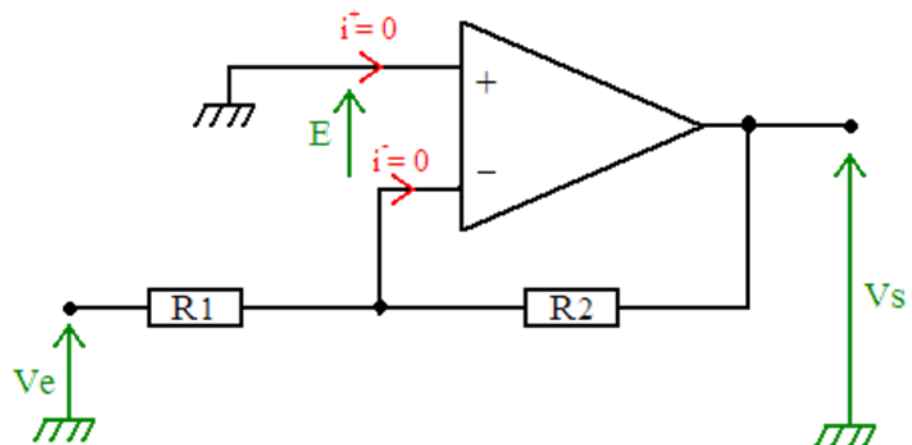


Figure III-5 Schéma d'un amplificateur inverseur

Chapitre III :

Les différents outils électroniques de développement du thermomètre digital

- Formule :

$$V_s = V_e * -R_2/R_1$$

• Remarque :

- ✓ *Puisque ce montage est un amplificateur inverseur, alors V_s peut être soit :*
 - amplifiée: lorsque $R_2 > R_1$
 - atténuée: lorsque $R_2 < R_1$

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

• Comment calculer V_s en fonction de V_e :

Puisque nous sommes en fonctionnement linéaire de cet AOP, et qu'on le considère comme parfait, alors on peut dire qu' $E=0V$.

Ainsi, pour cet amplificateur inverseur on a: **$V_+ = V_-$** .

Calculons maintenant **V_+ et V_-** :

$$V_+ = 0V$$

Pour calculer V_- de cet amplificateur inverseur, il faut savoir utiliser le théorème de Millman, n'hésitez pas à aller consulter le cours correspondant (surtout à la partie application à deux générateurs de Thévenin).

En utilisant ce théorème on peut dire que:

$$V_- = (V_e * R_2 + V_s * R_1) / (R_1 + R_2)$$

Puisque $V_+ = V_-$, nous pouvons en déduire cette formule:

$$0 = (V_e * R_2 + V_s * R_1) / (R_1 + R_2)$$

Chapitre III :

Les différents outils électroniques de développement du thermomètre digital

Que nous pouvons simplifier par:

$$0 = V_e * R_2 + V_s * R_1$$

Maintenant, nous allons essayer "d'isoler" le terme V_s

$$V_s * R_1 = -V_e * R_2$$

Et voilà, la formule de l'amplificateur inverseur est celle-ci:

$$V_s = V_e * -R_2$$

2.5.3. Amplificateur différentiel :

Schéma :

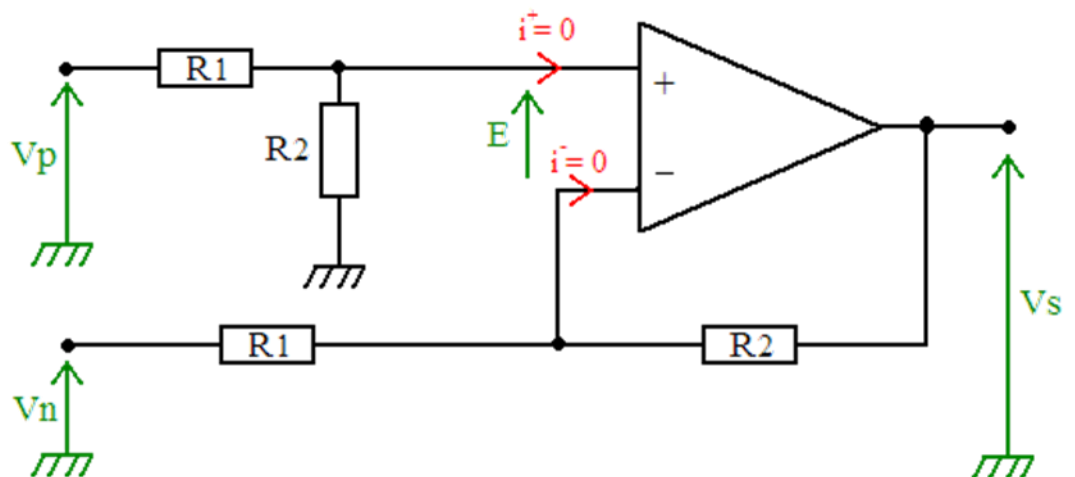


Figure III-6. Schéma d'un amplificateur différentiel

Chapitre III :

Les différents outils électroniques de développement du thermomètre digital

Formule :

$$V_s = (V_p - V_n) * (R_2/R_1)$$

- **Remarque :**

- ✓ Le montage amplificateur différentiel permet de multiplier une différence de potentiel électrique.
- ✓ Le montage ne réalise sa fonction seulement si les résistances indiquées sur le schéma sont respectées.
- ✓ La résistance de chacune des deux entrées est au moins R1 (mais elle n'est pas constante).

- **Comment calculer Vs en fonction de Ve :**

Cet AOP en montage amplificateur différentiel fonctionne en linéaire et il est supposé parfait, ainsi $E=0V$, donc $V_+ = V_-$

Calculons maintenant V_+ et V_- .

Calcul de V_+ : A l'aide du diviseur de tension on peut en déduire cette formule:

$$V_+ = V_p * (R_2 / (R_1 + R_2))$$

Calcul de V_- : A l'aide du théorème de Millman on peut en déduire cette formule:

$$V_- = (V_n * R_2 + V_s * R_1) / (R_1 + R_2)$$

Pour calculer la sortie de l'amplificateur différentiel, il est ensuite judicieux de faire correspondre les valeurs respectives de V_+ et V_- à la formule $V_+ = V_-$:

$$V_p * (R_2 / (R_1 + R_2)) = (V_n * R_2 + V_s * R_1) / (R_1 + R_2) \Rightarrow V_p * R_2 / (R_1 + R_2) = V_n * R_2 / (R_1 + R_2) + V_s * R_1 / (R_1 + R_2)$$

Chapitre III :

Les différents outils électroniques de développement du thermomètre digital

Il faut maintenant essayer "d'isoler" V_s .

$$V_s * R_1 / (R_1 + R_2) = V_p * R_2 / (R_1 + R_2) - V_n * R_2 / (R_1 + R_2)$$

Nous pouvons simplifier cette dernière formule par:

$$V_s * R_1 = V_p * R_2 - V_n * R_2$$

La formule du montage amplificateur différentiel est alors:

$$V_s = (V_p * R_2 - V_n * R_2) / R_1 \Rightarrow V_s = V_p * R_2 / R_1 - V_n * R_2 / R_1$$
$$\Rightarrow V_s = (V_p - V_n) * (R_2 / R_1)$$

Ce montage s'appelle amplificateur différentiel car il amplifie une différence de potentiel.

2.5.4. Convertisseur courant-tension

Schéma :

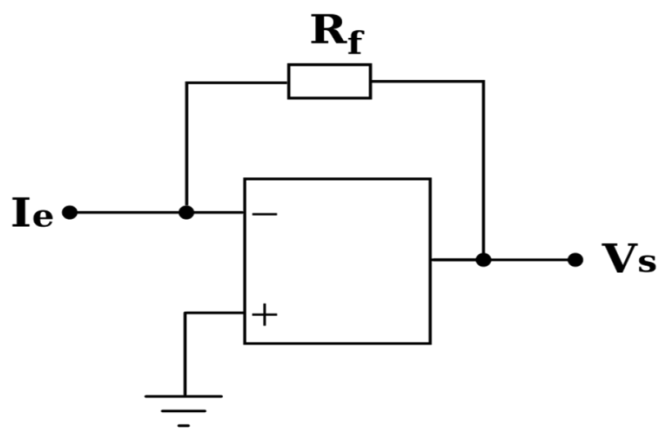


Figure III-7. Schéma d'un convertisseur courant tension

Chapitre III :

Les différents outils électroniques de développement du thermomètre digital

La formule :

$$V = -I_e R_f$$

Aussi appelé Amplificateur à transimpédance ou amplificateur à transrésistance car le rapport de la sortie sur l'entrée (v_s/I_e) donne une valeur de résistance.

2.5.5. Montage soustracteur :

C'est un amplificateur différentiel intégré (A.D.I.) ; il amplifie la différence entre la tension V_1 appliquée à l'entrée inverseuse et la tension V_2 appliquée à l'entrée non inverseuse.

Schéma :

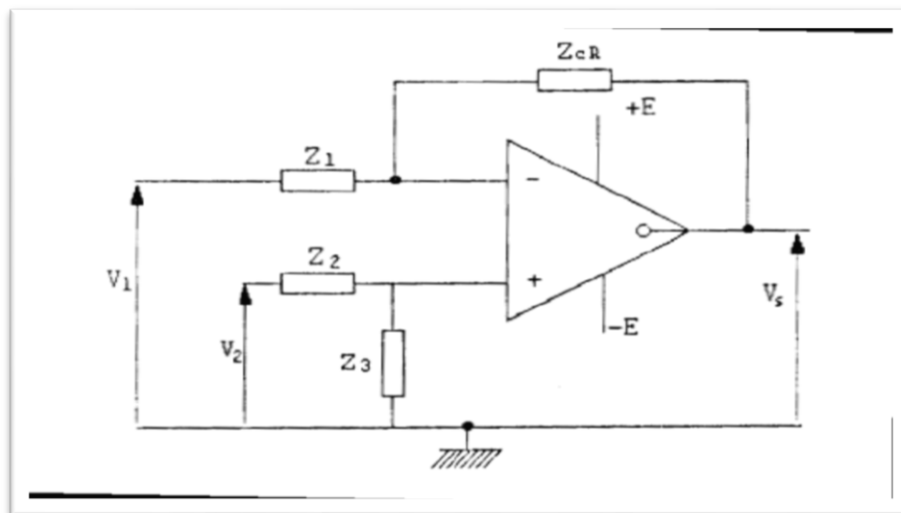


Figure III-8. Un montage soustracteur

Chapitre III :

Les différents outils électroniques de développement du thermomètre digital

Formule :

$$V_s = (Z_3 / Z_2) \cdot V_2 - (Z_{CR} / Z_1) \cdot V_1$$

Pour : $Z_1 = Z_2 = Z_3 = Z_{CR}$

On a : $V_s = V_2 - V_1$

2.5.6. Montage intégrateur :

Nous attaquons ici les montages opérationnels plus sophistiqués que de simples additions ou soustractions.

Schéma :

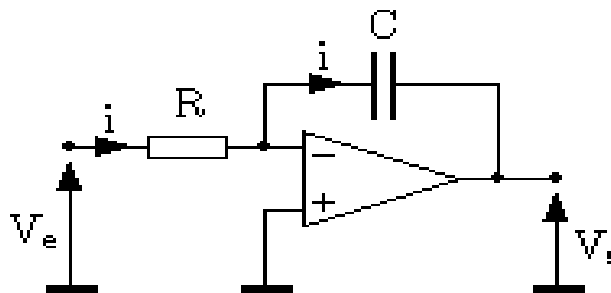


Figure III-9 : Un montage intégrateur

Formule :

Le calcul de la réponse V_s à un signal d'entrée V_e se traite comme dans le cas de l'amplificateur inverseur.

On a :

$$V_e = R \times i$$

Chapitre III :

Les différents outils électroniques de développement du thermomètre digital

En sortie, le condensateur a aux bornes de ses armatures une charge électrique q égale à :

$$q = C \times V_s$$

Cette charge électrique est l'intégrale du courant i qui traverse le condensateur ; compte tenu du sens de i , on a :

$$q = \int -i \times dt$$

Si on remplace on obtient :

$$V_s = -1/RC \int V_e dt$$

On retrouve en sortie l'intégrale du signal d'entrée. Ce montage est délicat à utiliser et devra faire l'objet de précautions : en effet, la moindre tension continue présente à l'entrée (y compris et surtout une tension parasite) sera intégrée et générera une rampe en sortie.

Il faudra donc prévoir des dispositifs annexes, soit un système de stabilisation, soit un système de remise à zéro de la sortie.

2.6-Les amplificateur linéaire intégré en mode non linéaire :

2.6.1. Le Comparateur à Simple Seuil :

Un comparateur à un seuil est très facile à réaliser. Il suffit juste d'un ALI et de connaître son seuil de basculement. Mais il faut tout d'abord savoir si le comparateur fonctionne en inverseur ou non-inverseur.

Chapitre III :

Les différents outils électroniques de développement du thermomètre digital

2.6.1.1. Comparateur Non Inverseur :

Un comparateur non inverseur est un comparateur simple seuil composé d'une alimentation uniquement.

Schéma :

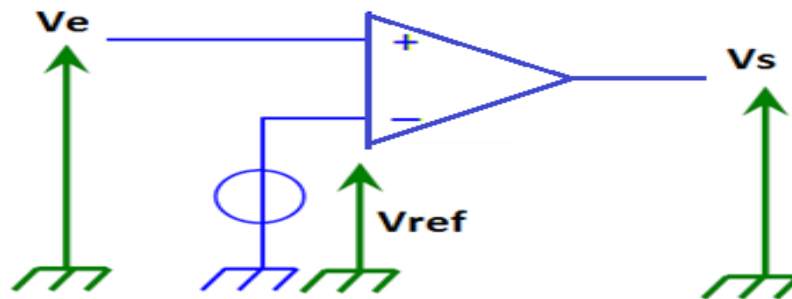


Figure III-10 : Comparateur non- inverseur

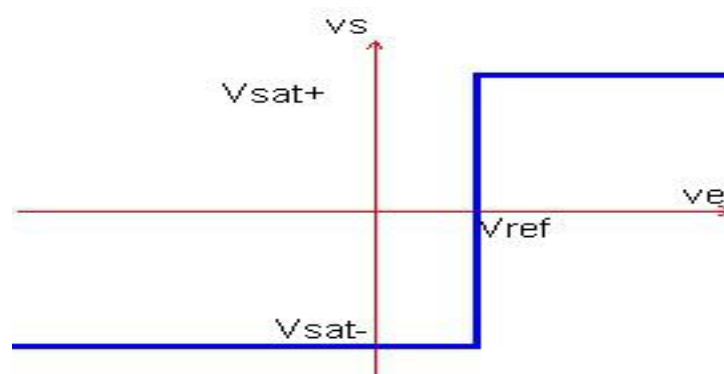


Figure III-11 : Les variations de V_s en fonction de V_e du comparateur

non- inverseur

Interprétation de la courbe :

Comme on le voit sur la courbe c'est à cette tension que le composant change d'état de $-V_{sat}$ à $+V_{sat}$ ou inversement. Les tensions V_{sat+} et $-V_{sat-}$ correspondent aux tensions d'alimentation du circuit intégré soit $+15V$ $-15V$ ou $+15V$ $0V$. Dans ce cas la courbe s'arrête au 0 et $V_{sat-}=0$.

Chapitre III :

Les différents outils électroniques de développement du thermomètre digital

2.6.1.2. Comparateur Inverseur :

Un comparateur inverseur fonctionne à l'inverse d'un non inverseur. C'est à dire que sa tension d'entrée est sur la patte - et sa tension V_{ref} qui fixe le basculement est sur la patte +.

Schéma :

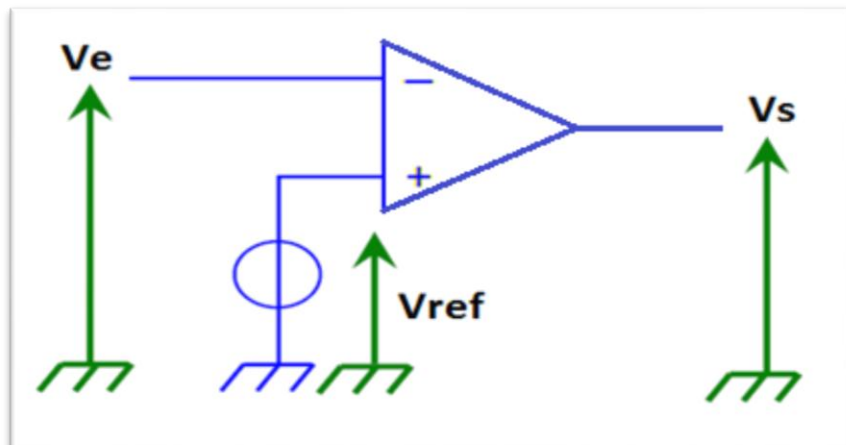


Figure III-12 : montage comparateur inverseur.

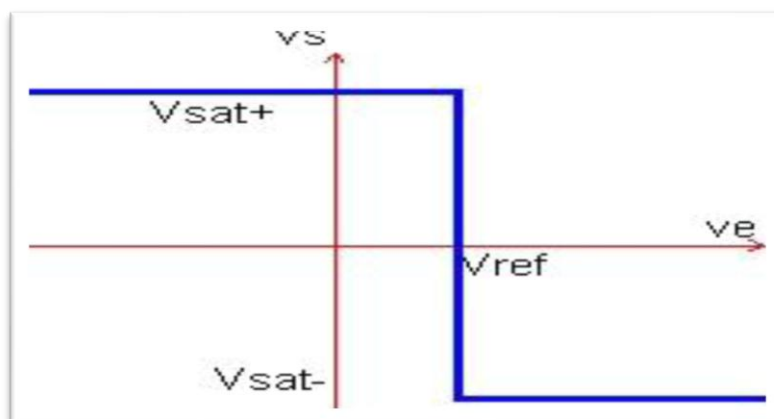


Figure III-13 : Les variations de V_s en fonction de V_e du comparateur inverseur.

Interprétation de la courbe :

Voyons maintenant sa courbe de fonctionnement. On voit bien que le comparateur fonctionne en inverse niveau haut puis niveau bas. Celui-ci prend toujours les valeurs de V_{sat+} et V_{sat-} .

Chapitre III :

Les différents outils électroniques de développement du thermomètre digital

2.6.2. Le Comparateur à 2 Seuils :

Un comparateur à un seuil, c'est bien mais certains systèmes passeraient leur temps à basculer d'un état à un autre. Il faut donc créer un système qui ne bascule pas tout le temps même au moindre parasite. C'est là qu'intervient le comparateur à 2 seuils. Comme le comparateur simple il existe sous 2 formes le Non Inverseur et l'Inverseur.

2.6.2.1. Le Comparateur Non Inverseur à 2 Seuils :

Un comparateur à 2 seuils ou à trigger est toujours composé d'une alimentation mais avec 2 résistances, une entre la sortie et la patte + et l'autre en entrée.

Schéma :

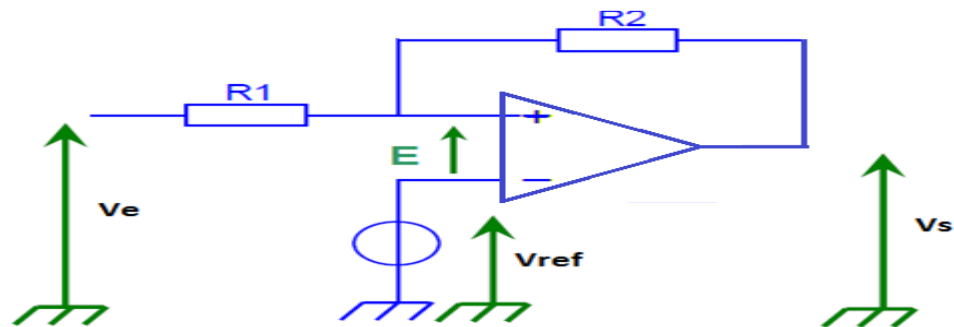


Figure III-14 : Montage comparateur à 2 seuils non inverseur

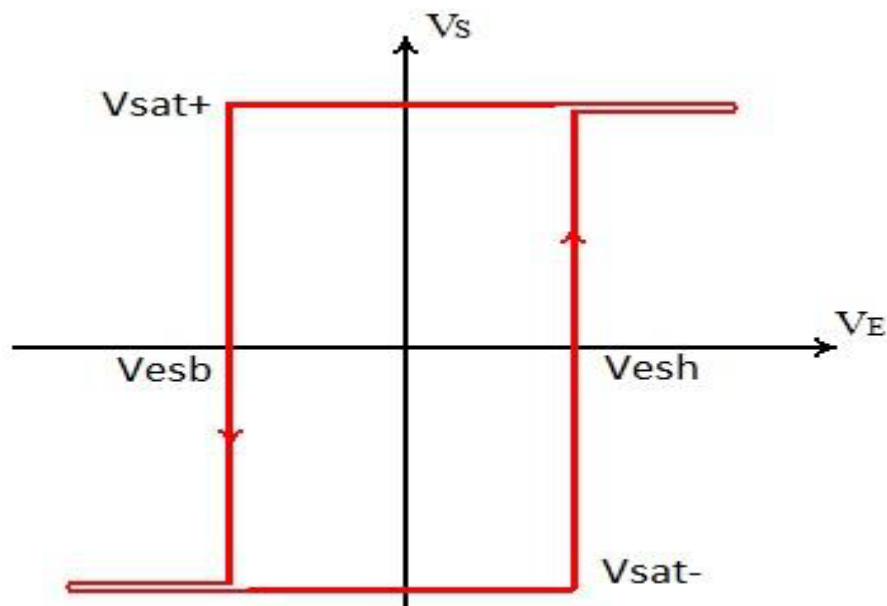


Figure III-15 : Les variations de V_s en fonction de V_e du comparateur à 2 seuils non inverseur

Chapitre III :

Les différents outils électroniques de développement du thermomètre digital

Formule :

Pour calculer les seuils de basculement, il faut utiliser la formule suivante :

$$V_{esh} = \{V_{ref} R1 + R2 - R1 \times V_{sat-}\} / R2$$
$$V_{esb} = \{1 + R2 - R1 \times V_{sat+}\} / R2$$

2.6.2.2. Le comparateur Inverseur à 2 Seuils :

Comme pour un simple seuil le comparateur double seuils inverseur suit la même courbe sauf qu'elle a 2 branches. Les résistances R1 et R2 ne sont plus branchées sur la patte + mais sur la patte (-).

Schéma :

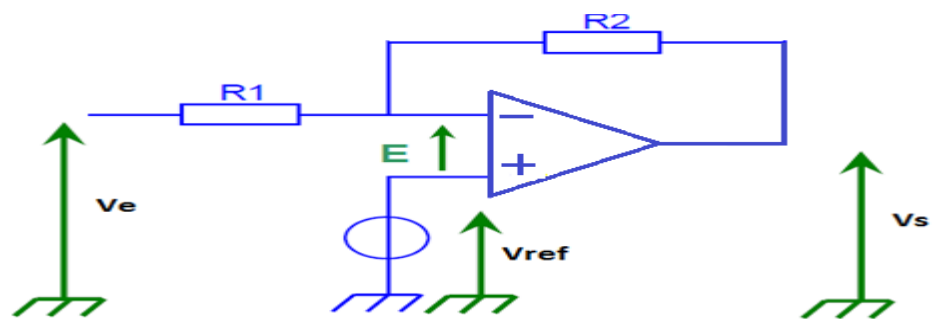


Figure III-16 : Montage comparateur à 2 seuils inverseur

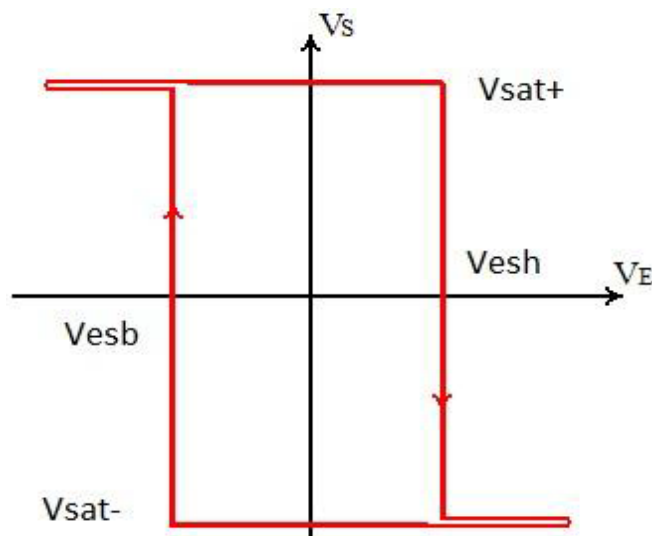


Figure III-17 : Les variations de Vs en fonction de Ve du comparateur à 2 seuils inverseur.

Chapitre III :

Les différents outils électroniques de développement du thermomètre digital

Formule :

Pour calculer les seuils de basculement il faut utiliser la formule suivante :

$$V_{esh} = \{V_{ref} R1 + R2 - R1 \times V_{sat+}\} / R1 + R2$$

$$V_{esb} = \{V_{ref} R1 + R2 \times V_{sat-}\} / R1 + R2$$

2.6.3. Comparateur à fenêtre

Un comparateur à fenêtre fonctionne lui aussi en non linéaire mais il possède 2 alimentations montées côte à côte. La fonction comparateur à fenêtre consiste à détecter si l'amplitude d'un signal est à l'intérieur ou à l'extérieur d'une « fenêtre » définie par un seuil haut et un seuil bas.

Schéma :

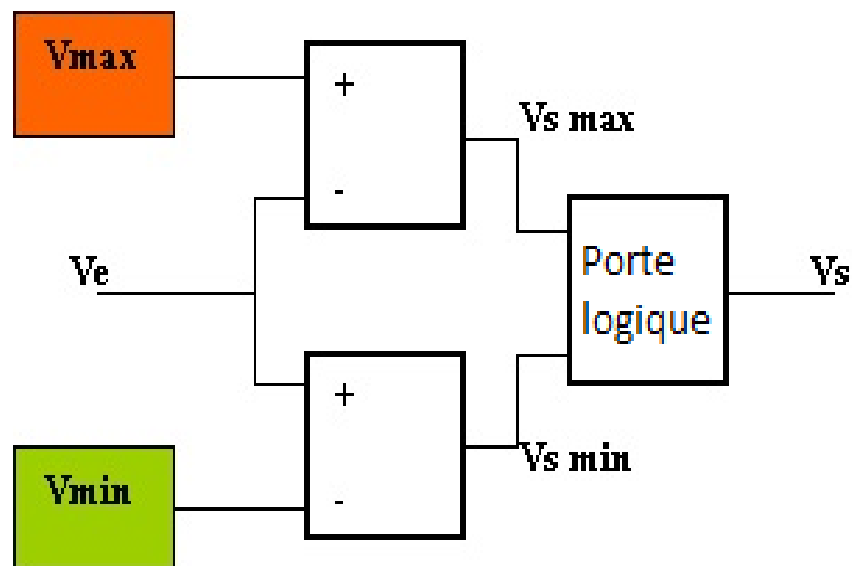


Figure III-18. Montage Comparateur à fenêtre.

Chapitre III :

Les différents outils électroniques de développement du thermomètre digital

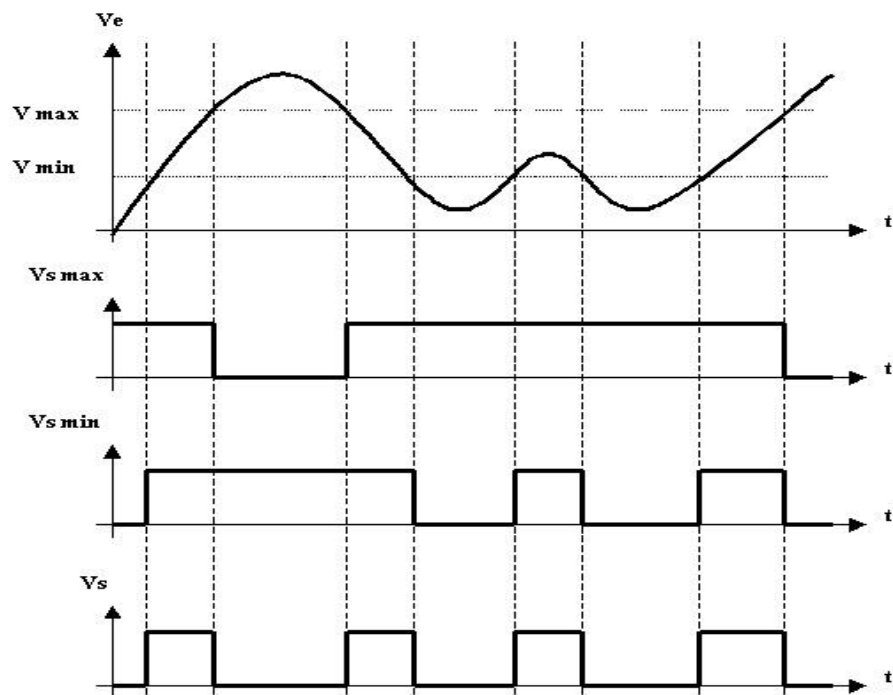


Figure III-19 : Exemple avec une fonction comparateur à fenêtre.

3. Le convertisseur analogique numérique :

3.1. Définition

Un convertisseur analogique-numérique (CAN, parfois convertisseur A/N), ou en anglais ADC pour (Analog to Digital Converter) ou plus simplement A/D, est un montage électronique dont la fonction est de traduire une grandeur analogique en une valeur numérique (codée sur plusieurs bits), proportionnelle au rapport entre la grandeur analogique d'entrée et la valeur maximale du signal. Le signal converti est le plus souvent une tension électrique.

3.2. Types de convertisseur

3.2.1. Convertisseur à simple rampe

On réalise au moyen d'un compteur et d'un convertisseur numérique-analogique une rampe de tension. Un comparateur arrête le compteur lorsque la tension créée par le CNA atteint la tension à convertir. Le compteur indique alors le résultat sur N bits, qui peut être stocké ou traité. Ces convertisseurs ont les mêmes performances en termes de stabilité que les convertisseurs à approximations successives, tout en étant nettement plus lents que ces derniers. De plus, leur

Chapitre III :

Les différents outils électroniques de développement du thermomètre digital

temps de conversion qui évolue avec la tension à convertir les rend totalement absents du monde de l'électronique.

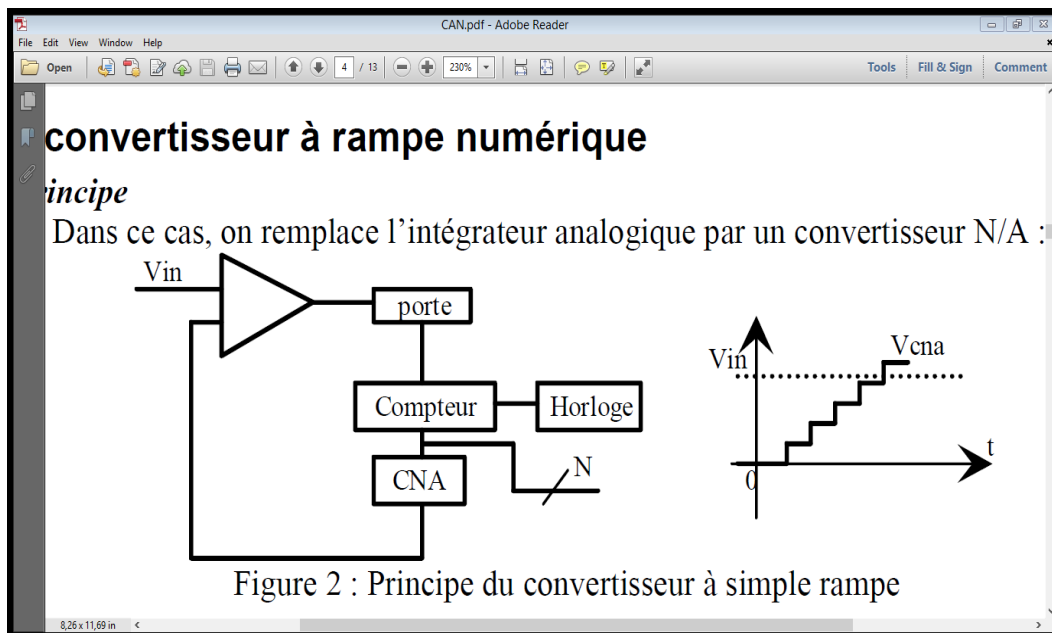


Figure III-20 : Principe du convertisseur à simple rampe.

3.2.2. Convertisseur à double rampe

Cette évolution des convertisseurs à simple rampe permet de s'affranchir de la dérive naturelle des composants qui le composent. Son fonctionnement repose sur une comparaison entre une référence et le signal à convertir. La conversion se déroule en trois étapes :

- On charge une capacité avec un courant proportionnel au signal à convertir pendant un temps fixe (le temps du comptage complet du compteur).
- On décharge ensuite la capacité, avec un courant constant issu de la tension de référence, jusqu'à annulation de la tension à ses bornes. Lorsque la tension devient nulle, la valeur du Compteur est le résultat de la conversion.
- On annule enfin la tension aux bornes de la capacité par une série convergente de charges et de décharges (l'objectif étant de décharger totalement la capacité pour ne pas fausser la mesure suivante). On parle en général de phase de relaxation.

Chapitre III :

Les différents outils électroniques de développement du thermomètre digital

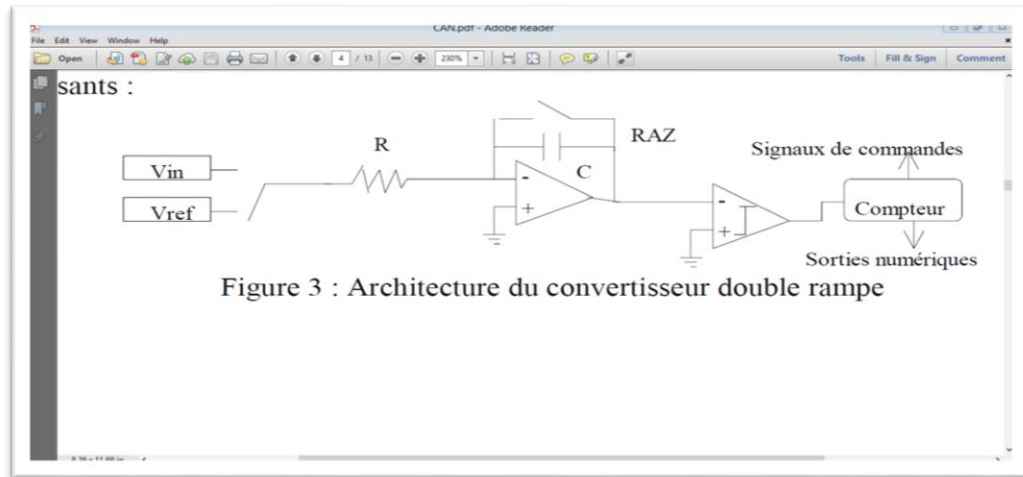


Figure 3 : Architecture du convertisseur double rampe

Figure III-21. Architecture du convertisseur double rampe.

3.2.3. Convertisseur Sigma Delta :

Ce type de convertisseur est basé sur le principe du suréchantillonnage d'un signal d'entrée. Un comparateur est en général utilisé pour convertir sur un bit (c'est-à-dire 0 ou 1) la différence (delta) entre le signal d'entrée et le résultat de la conversion (0=plus petit, 1=plus grand).

Le résultat de la comparaison est alors entré dans un filtre appelé le décimateur, qui somme (sigma) les échantillons du signal d'entrée. Cela revient à calculer l'intégrale de la différence entre l'entrée et la sortie. Cela crée un système asservi (la sortie est rebouclée sur l'entrée) qui fait osciller la valeur de l'intégrale du signal à convertir autour d'une valeur de référence (le résultat de la conversion).

La sortie numérique du comparateur est sur 1 bit à haute fréquence (la fréquence d'échantillonnage), qui est filtrée par le décimateur qui augmente le nombre de bits en réduisant le pseudo fréquence d'échantillonnage. L'intérêt de ce genre de convertisseur réside dans sa grande résolution de sortie possible (16, 24, 32 bits voir plus) pour des signaux d'entrée avec une bande passante modérée. Ces convertisseurs sont adaptés à la conversion de signaux analogiques issus de capteurs dont la bande passante est souvent faible (par exemple les signaux audio). Les convertisseurs Sigma/Delta sont, par exemple, utilisés dans les lecteurs de CD dans le cas d'une conversion numérique-analogique. Les technologies Sigma-Delta ont quasi totalement remplacé les technologies à simple ou double rampe.

Chapitre III :

Les différents outils électroniques de développement du thermomètre digital

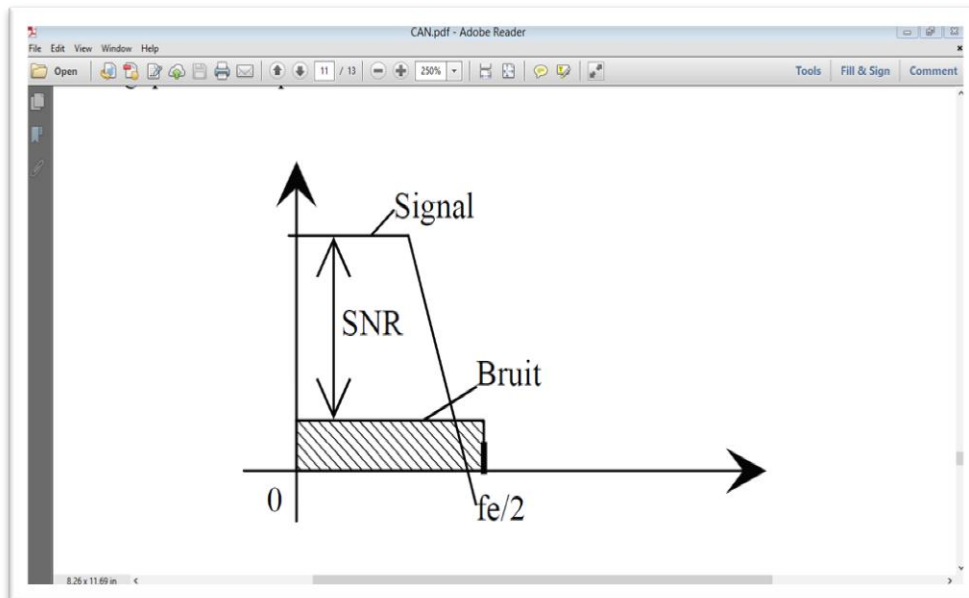
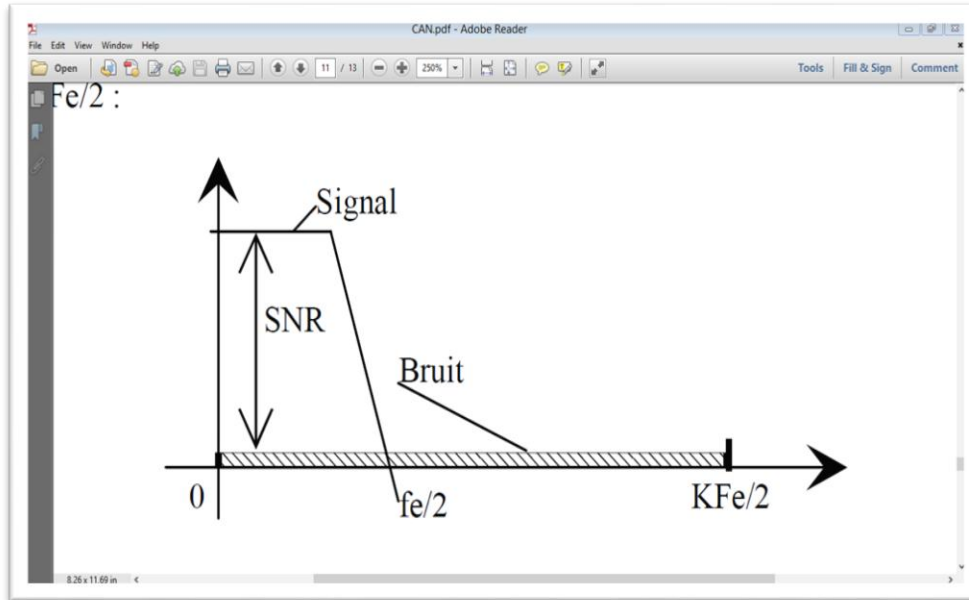


Figure III-22. : Principe d'un convertisseur de suréchantillonnage (Sigma Delta)

Chapitre III :

Les différents outils électroniques de développement du thermomètre digital

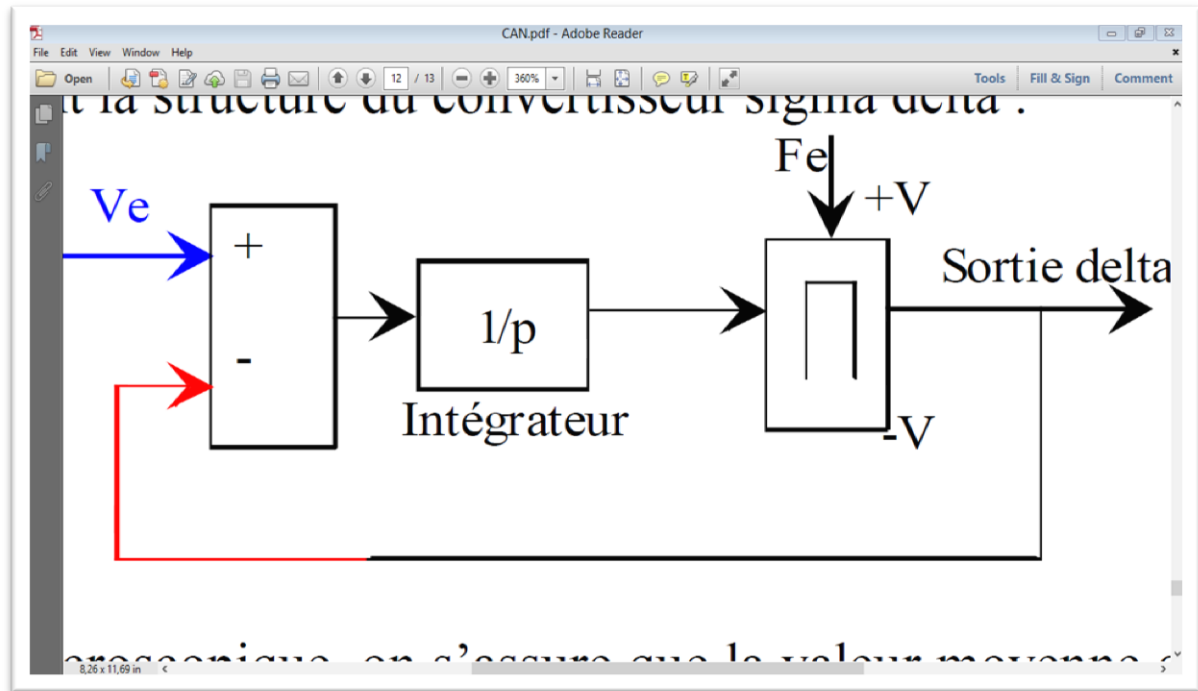


Figure III-23. Architecture d'un convertisseur Sigma Delta.

3.2.4. Convertisseur à approximations successives :

Très proches en termes de composition des convertisseurs à simple rampe, les convertisseurs à approximations successives (aussi appelées pesées successives) utilisent un processus de dichotomie pour traduire numériquement une tension analogique.

Un séquenceur (généralement nommé SAR pour Successive Approximation Register) (en), couplé à un CNA, produit une tension analogique, qui est comparée au signal à convertir.

Le résultat de cette comparaison est alors introduit dans le SAR, qui va le prendre en compte, pour la suite du processus de dichotomie, jusqu'à complétion. Le convertisseur réalise donc sa conversion en positionnant en premier le bit de poids fort (MSB) et en descendant progressivement jusqu'au LSB.

Les convertisseurs à approximations successives ont des temps de conversion de l'ordre de la dizaine de microsecondes, pour des résolutions d'une douzaine de bits environ.

Chapitre III :

Les différents outils électroniques de développement du thermomètre digital

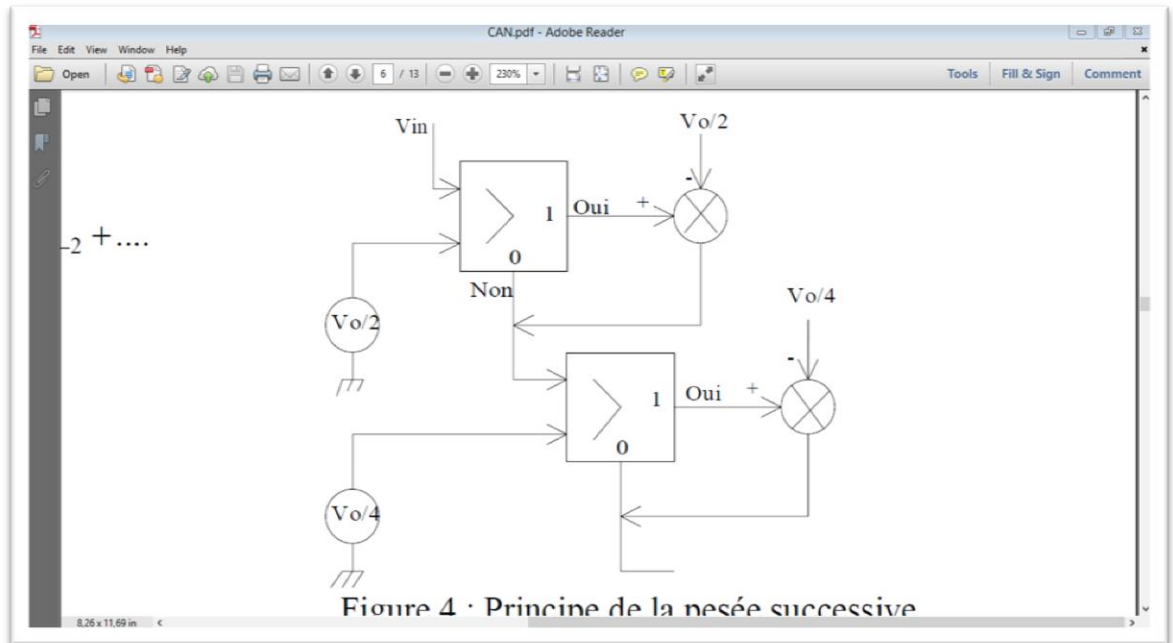


Figure III-24 : Principe d'un convertisseur à approximation successive.

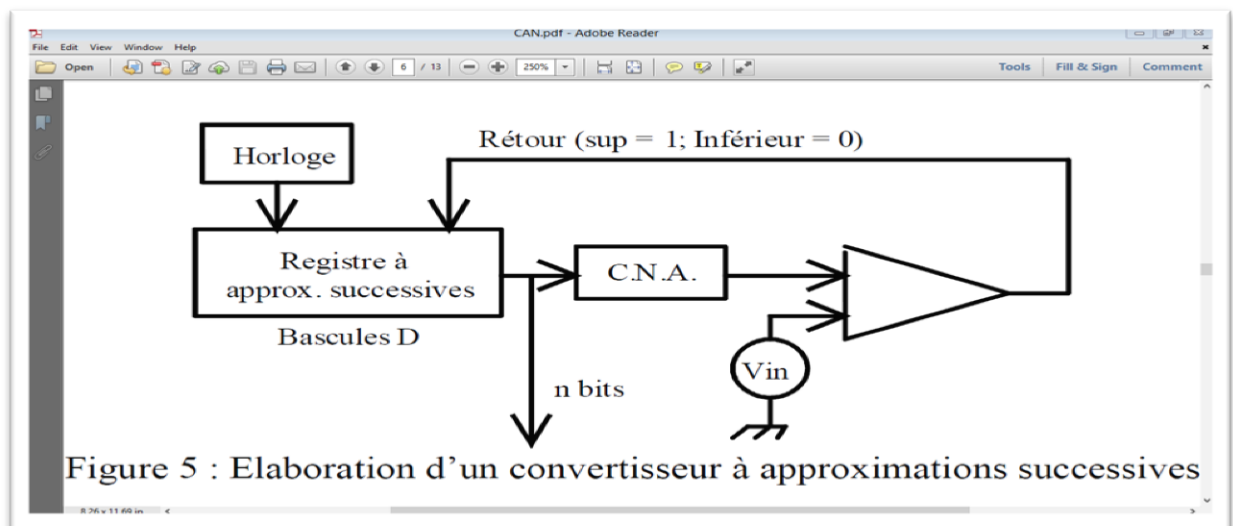


Figure III-25 : Elaboration d'un convertisseur à approximation successive.

Chapitre III :

Les différents outils électroniques de développement du thermomètre digital

3.2.5. Convertisseur flash :

Le principe est de produire 2^{N-1} tensions analogiques au moyen d'un diviseur de tension à 2^N résistances. Les 2^{N-1} tensions obtenues aux bornes de chacune des résistances sont ensuite comparées dans 2^{N-1} comparateurs au signal à convertir. Un bloc logique combinatoire relié à ces comparateurs donnera le résultat codé sur N bits en parallèle. Cette technique de conversion est très rapide, mais coûteuse en composants et donc utilisée pour les applications critiques comme la vidéo. Il est difficile d'assurer une bonne linéarité de la conversion, car cela nécessite que toutes les résistances soient égales avec une précision d'autant plus grande qu'il y a un grand nombre de résistances. Les convertisseurs Flash ont des temps de conversion inférieurs à la microseconde mais une résolution assez faible (de l'ordre de 8 bits) et sont souvent très chers.

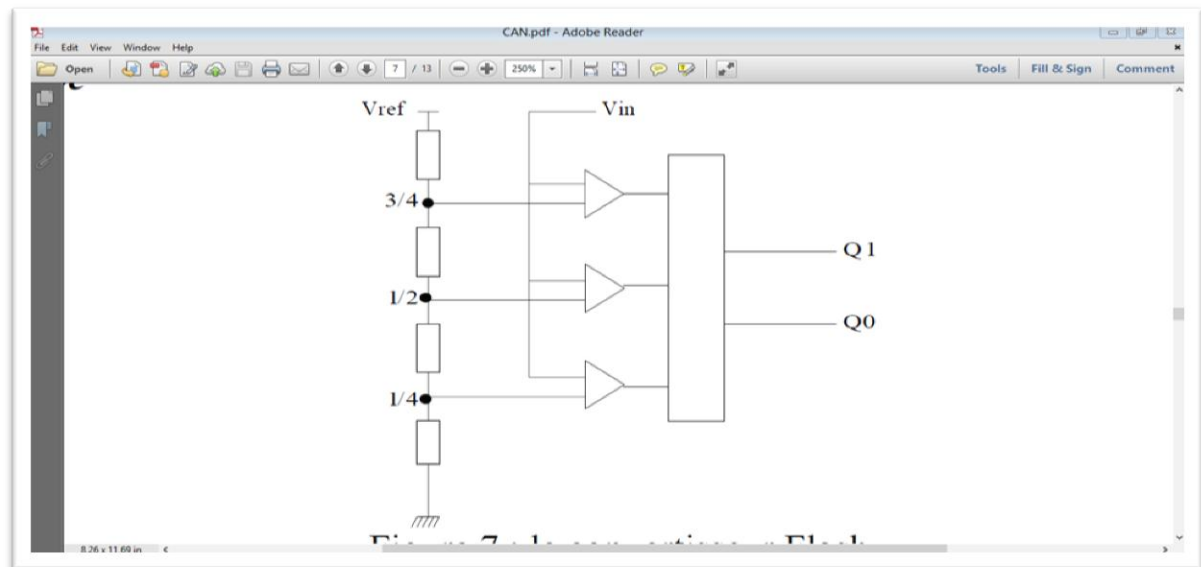


Figure III-26. Architecture d'un convertisseur flash

3.2.6. Convertisseurs semi-flash pipeline

De manière à limiter le nombre total de comparateurs, ces convertisseurs utilisent plusieurs étages flash de précision réduite (typiquement 3 ou 4 bits) chaînés. Chaque flash pilote un convertisseur numérique-analogique dont la sortie est soustraite au signal analogique d'entrée. L'étage suivant code le résultat de la différence, améliorant ainsi la précision finale.

Un convertisseur semi-flash effectue l'ensemble des opérations en un seul cycle d'horloge, ce qui limite sa vitesse au temps de propagation total le long de la chaîne. En revanche, un convertisseur pipeline utilise un cycle d'horloge par étage. Ce séquençage nécessite un échantillonneur-bloqueur et un registre par étage mais permet d'être plus rapide puisque plusieurs échantillons sont traités simultanément.

Chapitre III :

Les différents outils électroniques de développement du thermomètre digital

Pour notre premier montage, on a choisi un convertisseur A/N à double rampe qui est le circuit CA3162 car ce convertisseur a une bonne précision et peu sensible au bruit et un temps de conversion assez court de 5 à 100ms et une bonne réjection des signaux parasite qui proviennent du secteur.

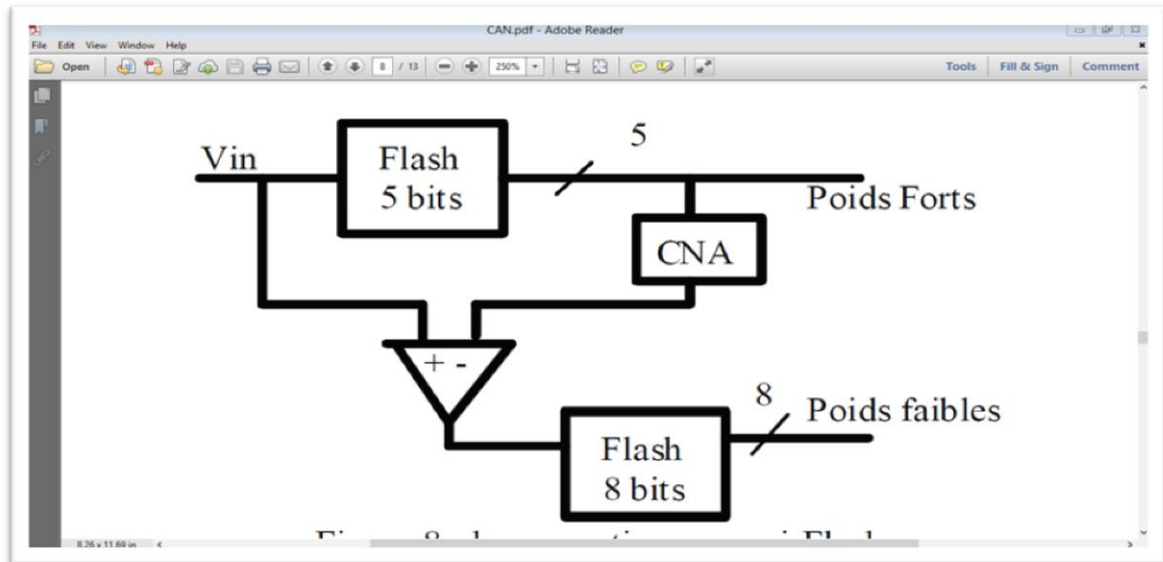


Figure III-27. : Convertisseur semi-flash.

3.3. Brochage et description du CA3162 :

3.3.1. Brochage :

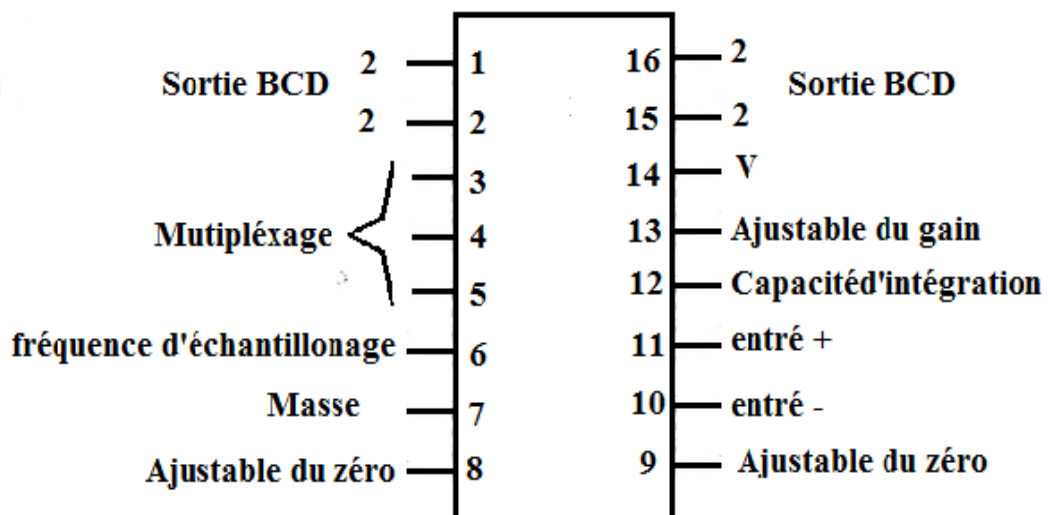


Figure III-28. Brochage du convertisseur CA3162.

Chapitre III :

Les différents outils électroniques de développement du thermomètre digital

3.3.2. Description du CA3162 :

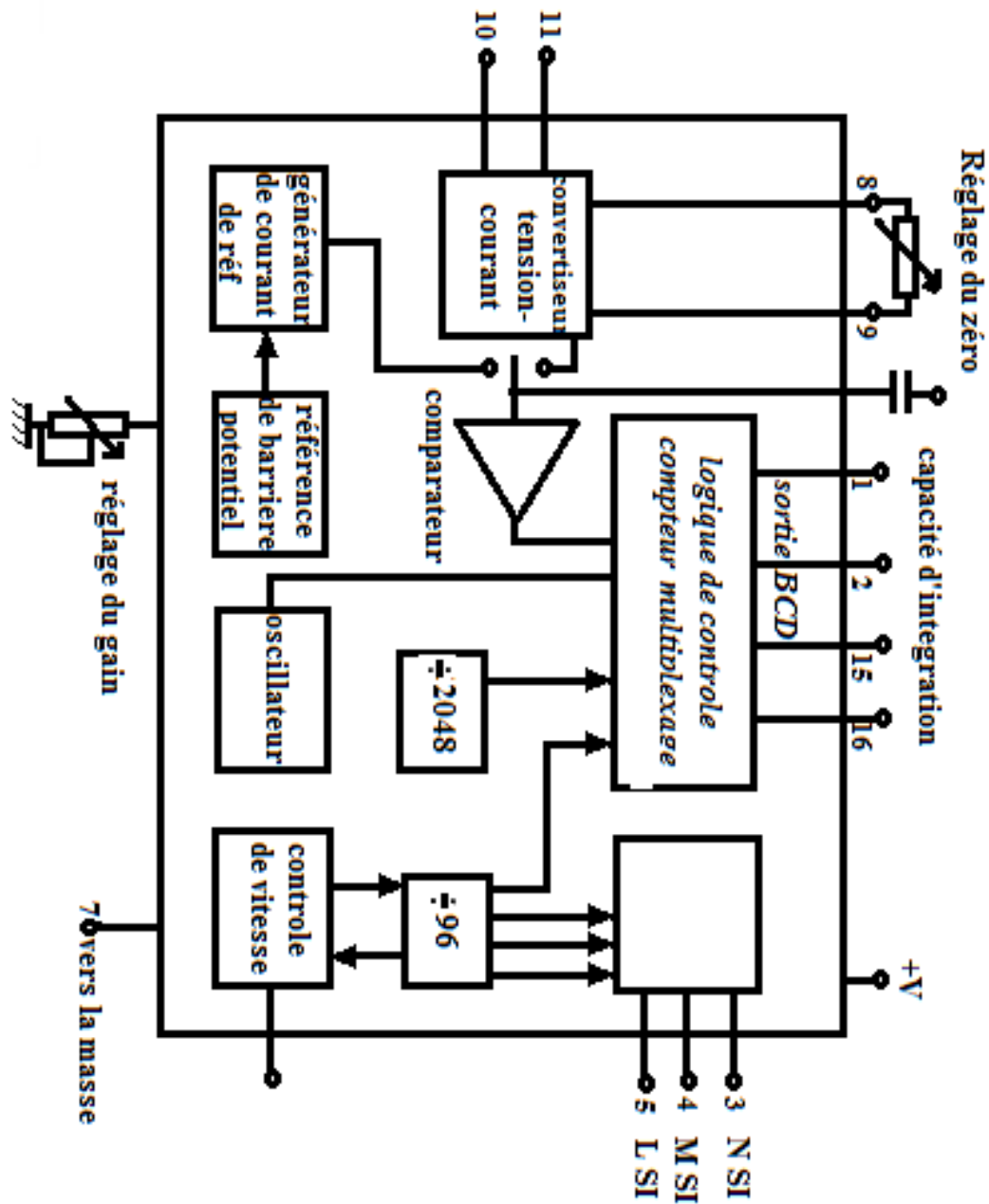


Schéma interne du CAN 3162

Figure III-29 : Description du schéma interne du CAN 3162.

Chapitre III :

Les différents outils électroniques de développement du thermomètre digital

- Celui-ci comprend, un boîtier D à 16 broches tous les éléments nécessaires à la conversion A/N à double rampe. Ce circuit comprend également une référence interne ultra stable à barrière de potentiel, une horloge et une sortie BCD à trois digit multiplexés, il permet en plus de fixer le taux de conversion à deux valeurs différentes (4 et 96 Hz).
- Le CA3162 est associé à un décodeur CA3161 qui effectue le décodage 7 segments ; deux potentiomètres sont nécessaires pour l'ajustage ; des transistors petits signaux sont nécessaires pour attaquer l'anode des afficheurs. La valeur typique du courant d'alimentation du circuit est inférieure à 60mA.
- La lecture se fait de -99mV à +999mV, la polarité étant indiquée automatiquement. Le dépassement de la valeur maximale est indiqué par EEE pour une tension d'entrée supérieure à +999mV et de même si elle est inférieure à -99mV.

3.4. Principe de fonctionnement du CA3162 :

La partie analogique comprend un intégrateur qui est le cœur du système, un convertisseur tension- courant et un générateur du courant de référence. La tension à convertir (positive) est appliquée entre les broches(11) et (10). Au début de la conversion, le condensateur se décharge et le compteur se remet à zéro ; lorsque la tension appliquée entre(11) et (10) sera converti en courant et appliqué à l'intégrateur le condensateur se décharge linéairement avec un courant constant. La tension de sortie de l'intégrateur est donnée par :

$$V_c = 1/R.C \int V_x . dt = (V_x/R_c) . N . T$$

N : nombre d'impulsion pendant une période.

T : période.

Ces dents de scie appliquées à l'entrée du comparateur, seront transmises au comparateur. Lorsque le compteur atteint sa capacité maximale, l'entrée de l'intégrateur est commutée sur une autre source de courant de référence ce qui ramène le condensateur à se décharger linéairement.

$$V_d = (V_{ref}/RC) . t_2$$

Lorsque le comparateur enregistre ces impulsions, lors de cette décroissance le comparateur détecte le passage à zéro et à cet instant, le compteur s'arrête de compter et le comptage sera multiplexé vers la sortie BCD.

Chapitre III :

Les différents outils électroniques de développement du thermomètre digital

La temporisation du circuit intégré CA3162 est alimentée par un oscillateur et l'entrée (6) donne la fréquence de l'échantillonnage :

- ✚ Si la broche (6) est alimentée par une tension +5V, elle peut donner au circuit une fréquence d'échantillonnage de haute vitesse (96 Hz).
- ✚ Si la broche (6) est à la masse, on aura une fréquence d'échantillonnage de faible vitesse (4 Hz).

3.5. Etude sur le décodage et affichage :

Le résultat du comptage est recueilli à la sortie du convertisseur A/N à travers 4 sorties et cette information BCD sera décodée à l'aide d'un décodeur CA3162. Le circuit intégré CA3162 est un décodeur BCD 7 segments.

3.5.1. Brochage du décodeur :

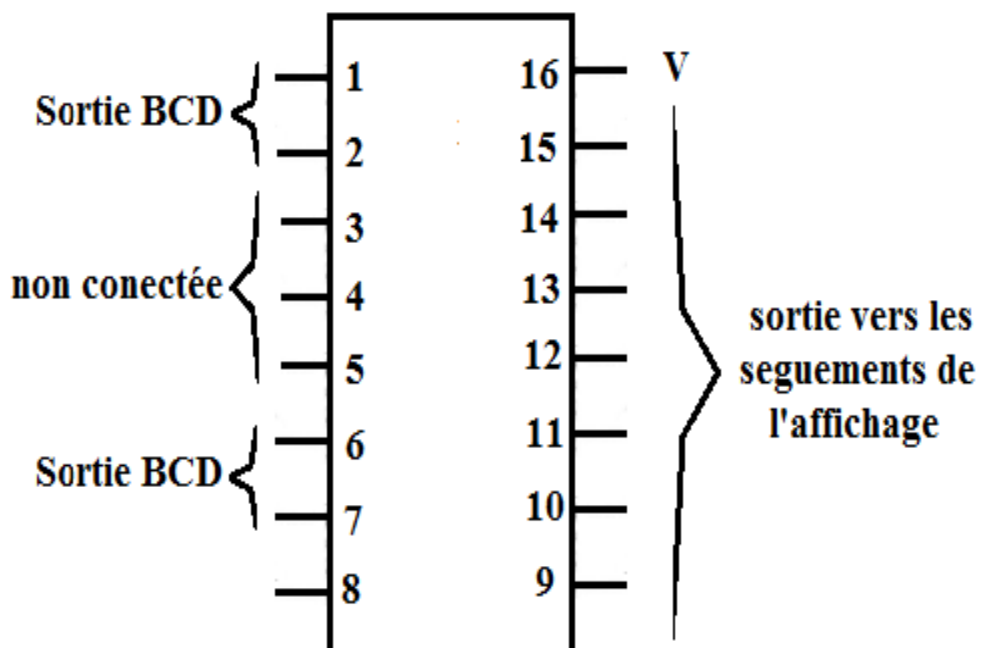


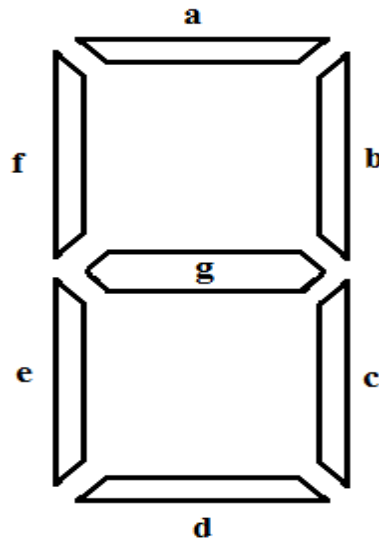
Figure III-30 : Brochage du Décodeur.

Chapitre III :

Les différents outils électroniques de développement du thermomètre digital

3.5.2. Description et brochage des afficheurs :

L'afficheur comporte 7 diodes (segments) électroluminescentes disposées comme suit :



- ✓ Chaque segment est utilisé pour afficher une partie du chiffre.
- ✓ Chaque afficheur est alimenté sous une tension de +5V à l'aide de transistors PNP qui se débloquent pour fournir à la sortie un courant qui attaque les segments des afficheurs.

3.6. Principe de fonctionnement du système d'affichage :

On remarque bien que le circuit d'affichage fait appel à deux circuits intégrés le CA3162 et le CA3161. Le CA3162 est un convertisseur A/N possèdent des sorties BDC multiplexés broches (16, 11, 1, 2) et autorisant des valeurs inférieures à +999mV.

Le potentiomètre P3 (50K) sert à stabiliser la tension maximale et le potentiomètre P4 (1K) permet de régler le gain et puisque le CA3162 utilise la méthode de la double rampe, le condensateur détermine la fréquence de génération des rampes.

Le CA3162 attaque le décodeur CA3161 (BCD 7 segments) et le signal multiplexé commande les trois afficheurs à l'aide de transistors.

Le CA3161 est un décodeur BCD 7 segments, à chaque combinaison d'entrée correspond une combinaison à sept bits à sa sortie.

Pour afficher la tension nous étions contraints de choisir des afficheurs à LED disponible. Notons que ces derniers consomment un courant assez fort. En effet un test de mesure de courant nous a permis de connaître le courant consommé par ces afficheurs et qui peut atteindre 70mA.

Chapitre III :

Les différents outils électroniques de développement du thermomètre digital

4. Afficheur LCD :

4.1. Définition :

L'écran à cristaux liquides, (ACL pour affichage à cristaux liquides, ou en anglais : LCD pour liquid crystal display), permet la création d'écran plat à faible consommation d'électricité. Aujourd'hui ces écrans sont utilisés dans presque tous les affichages électroniques.

4.2. Présentation :

Les écrans à cristaux liquides utilisent la polarisation de la lumière par des filtres polarisants et la biréfringence de certains cristaux liquides en phase nématique, dont on peut faire varier l'orientation en fonction du champ électrique. Du point de vue optique, l'écran à cristaux liquides est un dispositif passif : il n'émet pas de lumière, seul sa transparence varie, et il doit donc disposer d'un éclairage.

D'abord disponible en monochrome et de petite taille, il est utilisé dans les calculatrices et les montres du fait de sa faible consommation électrique ; il permet actuellement d'afficher en couleurs dans des dimensions dépassant un mètre, en diagonale. Il a supplanté le tube cathodique dans la plupart des applications, sauf en très haute définition lorsque la palette des couleurs doit être précise et fidèle, et dans les environnements difficiles (par exemple quand la température d'utilisation est inférieure à 5 °C).

4.3. Type des afficheurs LCD :

4.3.1. Cristaux liquides monochromes :

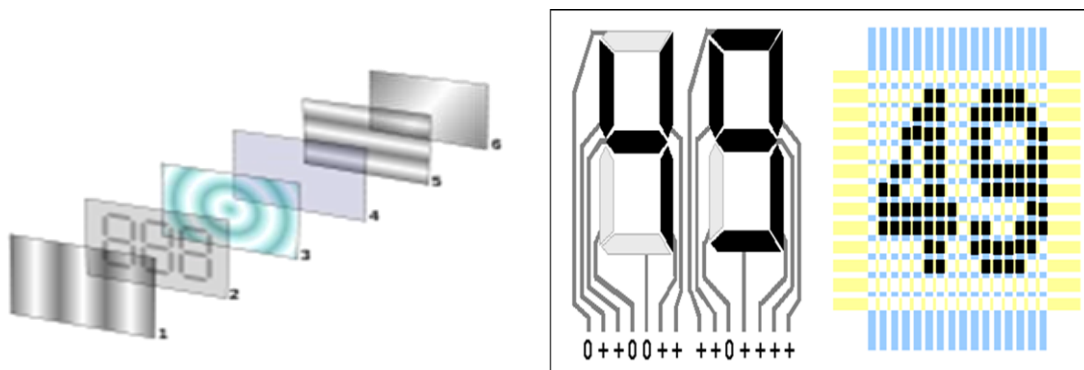


Figure III-31 : Afficheur LCD à Cristaux liquides monochromatiques.

Chapitre III :

Les différents outils électroniques de développement du thermomètre digital

Afficheur 3 chiffres :

- 1 et 5 : filtres polarisants.
- 2 : électrodes avant.
- 4 : électrode arrière.
- 3 : cristaux liquides.
- 6 : miroir.

L'écran à cristaux liquides est constitué de deux polariseurs dont les directions de polarisation forment un angle de 90° , disposés de chaque côté d'un sandwich, formé de deux plaques de verre enserrant des cristaux liquides.

À chacune des interfaces avec les cristaux liquides, une couche de polymère, généralement un poly imide, rainurée assure l'ancrage des molécules au repos. Les deux faces internes des plaques de verres comportent une matrice d'électrodes transparentes pour le noir et blanc.

L'épaisseur du dispositif et la nature des cristaux liquides sont choisis de manière à obtenir la rotation désirée du plan de polarisation, en l'absence de tension électrique (90° dans les écrans TN). Dans les écrans de grande dimension, on ajoute des espaceurs, petites billes transparentes, dans l'espace rempli de cristaux liquides pour maintenir la très faible épaisseur ($20 \mu\text{m}$) constante et précise.

L'application d'une différence de potentiel plus ou moins élevée entre les deux électrodes d'un pixel entraîne un changement d'orientation des molécules, une variation du plan de polarisation, et donc une variation de la transparence de l'ensemble du dispositif.

Cette variation de transparence est exploitée par un rétro-éclairage, par réflexion de la lumière incidente ou par projection. Les électrodes des pixels ne sont accessibles que par ligne ou colonne entières et la commande d'allumage ou d'extinction doit se faire par un balayage régulier des lignes de points.

Les petits afficheurs à cristaux liquides monochromes reposent sur le même principe, mais emploient souvent des électrodes avant en forme de segment de caractère, de façon à simplifier l'électronique (commande directe en tout ou rien), tout en obtenant une très bonne lisibilité (pas de balayage).

Les écrans ACL diffèrent aussi par leur taille, leur résolution et leur pitch (taille du pixel affiché à l'écran), dont voici une liste ci-après : ceci est à prendre en considération lors du choix d'un moniteur, en fonction de son usage, et de ses besoins.

Chapitre III :

Les différents outils électroniques de développement du thermomètre digital

4.3.2. Cristaux liquides couleur

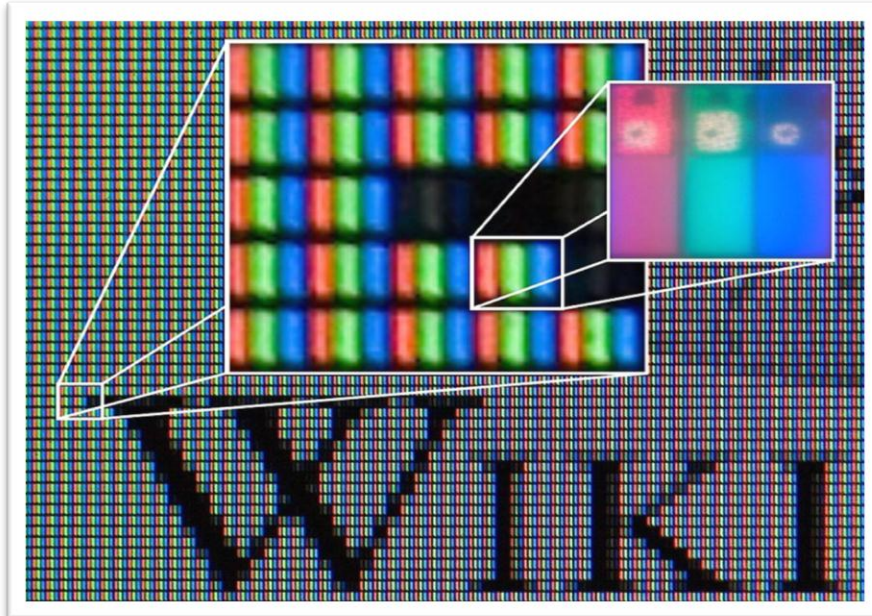


Figure III-32 : Afficheur LCD à Cristaux liquides couleur.

Le principe de base est toujours le même. Il nécessite trois cellules par pixels et le sandwich est complété par un filtre coloré de motifs rouges, verts et bleus.

Généralement le filtre est une succession de bandes verticales alternant les trois couleurs.

Il y a toutefois d'autres répartitions décalant les couleurs d'une ligne à l'autre. Afin d'améliorer la précision de rendu des couleurs, les éléments du filtre RVB sont séparés par une bande noire opaque.

La technologie TN ne permet pas l'affichage de plus de 262 144 couleurs (3×6 bits), l'affichage de 16 millions de couleurs (3×8 bits) utilise une technique d'approximation soit par clignotement (blinking) qui alterne l'affichage de 2 couleurs qui encadrent la « vraie », soit par effet de diffusion (dithering) entre des cellules adjacentes.

De nombreux écrans semblent utiliser une combinaison de ces deux techniques.

Chapitre III :

Les différents outils électroniques de développement du thermomètre digital

5. Affichage à l'aide d'un Arduino :

5.1. Définition :

C'est un circuit imprimé comportant tous les composants électroniques nécessaires pour faire fonctionner un microcontrôleur (Atmega 328) associé à une interface USB lui permettant de communiquer avec un ordinateur.

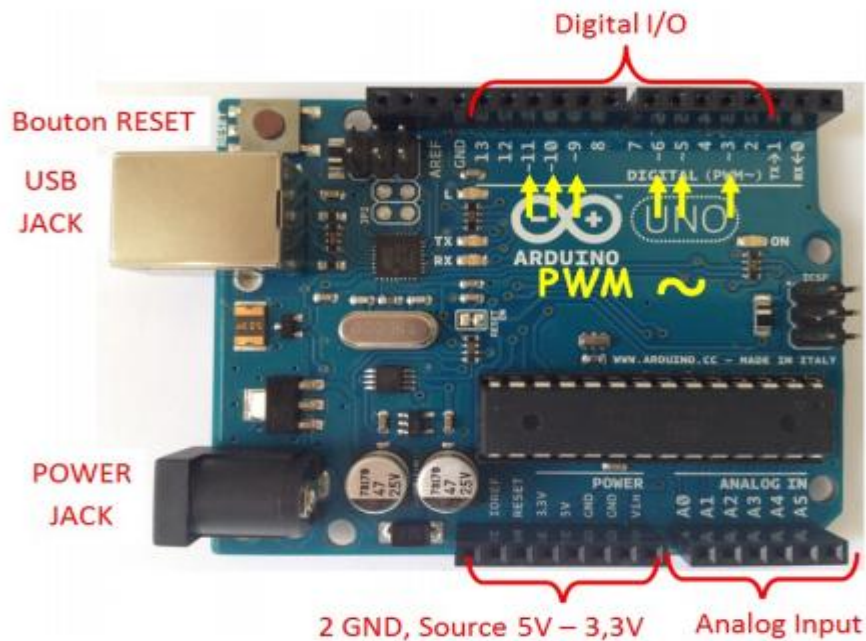


Figure III.33 : Description de la Carte Arduino "Uno"

- ✓ Microcontroller : ATmega328
- ✓ Operating Voltage : 5v
- ✓ Input Voltage (recommended) : 7-12 v
- ✓ Input Voltage (limits) : 6-20 v
- ✓ DC Current per I/O Pin : 40mA
- ✓ DC Current for 3.3V Pin : 50mA
- ✓ Flash Memory : 32 KB
- ✓ Clock Speed : 16MHz
- ✓ Pins assignments
- ✓ Analog read(A0-A5)
- ✓ Analog write[PWM] (3,5,6,9,10,11)
- ✓ Digital read(2-19)
- ✓ Digital write(2-19)

Chapitre III :

Les différents outils électroniques de développement du thermomètre digital

5.2. Description du matériel :

Un module Arduino est généralement construit autour d'un microcontrôleur Atmel AVR (ATmega328 ou ATmega 2560 pour les versions récentes, ATmega 168 ou ATmega8 pour les plus anciennes), et de composants complémentaires qui facilitent la programmation et l'interfaçage avec d'autres circuits. Chaque module possède au moins un régulateur linéaire 5V et un oscillateur à quartz 16 MHz (ou un résonateur céramique dans certains modèles).

Le microcontrôleur est préprogrammé au travers d'une connexion série RS-232, mais les connexions permettant cette programmation diffèrent selon les modèles. Les premiers Arduino possèdent un port série, puis l'USB est apparu sur les modèles Diecimila, tandis que certains moules destinés à une utilisation portable se sont affranchis de l'interface de programmation, relocalisée sur un module USB-série dédié (sous forme de carte ou de câble).

L'Arduino utilise la plupart des entrées/sorties du microcontrôleur pour l'interfaçage avec les autres circuits.

Le modèle Diecimila par exemple, possède 14 entrées/sorties numériques, dont 6 peuvent produire des signaux PWM, et 6 entrées analogiques.

Les connexions sont établies au travers de connecteurs femelle HE14 situés sur le dessus de la carte, les modules d'extension venant s'empiler sur l'Arduino. Plusieurs sortes d'extensions sont disponibles dans le commerce.

Les modules non officiels « Bo Arduino » et « Barebones », compatible avec la technologie Arduino, utilisent des connecteurs male pour une utilisation aisée avec des plaques de test.

6. Le logiciel utilisé :

Arduino IDE (Integrated Development Environment). Le logiciel est gratuit et open source dont la simplicité d'utilisation est remarquable. Ce logiciel va nous permettre de programmer la carte Arduino pour :

- Réaliser l'interfaçage avec Matlab/simulink
- Implémenter la commande directement sur la carte.

Chapitre III :

Les différents outils électroniques de développement du thermomètre digital

Conclusion

Dans ce chapitre on a fait une description générale des différents outils du thermomètre digital ce qui permet d'utiliser ces outils correctement pour la réalisation de circuit électronique.

Chapitre IV :

Réalisation pratique d'un thermomètre digital.

Chapitre IV : la réalisation pratique d'un thermomètre digital.

IV.1 Introduction :

Ce chapitre est consacré à l'étude pratique du thermomètre numérique. En effet, la tension obtenue à la sortie du capteur de température subit plusieurs opérations de conditionnement et de traitement. La plus importante de ces opérations est celle liée à la linéarisation du capteur. Le capteur choisi doit représenter cette propriété à fin que les mesures seront faibles et robustes. Une fois cette opération est accomplie, le conditionnement de la grandeur de sortie est facile à faire.

IV.2- Schéma synoptique du thermomètre digital :

La figure IV.1 représente le schéma général du thermomètre à réaliser. En effet, la chaîne d'acquisition comporte le capteur de température, un régulateur de tension, un comparateur, un afficheur LCD et une diode électroluminescente.

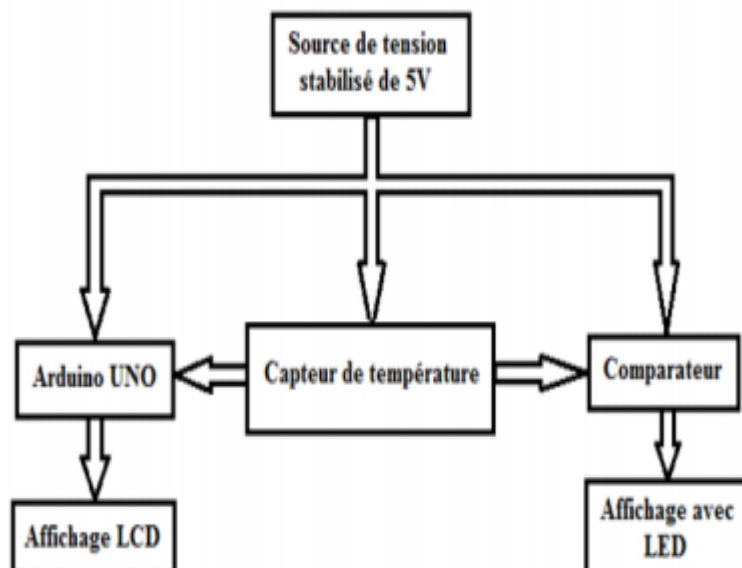


Figure IV.1 : Schéma synoptique du thermomètre électronique.

IV.3- Analyse expérimentale du LM35 et Diode 1N4001 :

IV.3-1 Le capteur LM35

Le capteur LM35 est un capteur de température où la tension de sortie est linéairement proportionnelle à la température en Celsius centigrade.

Ce capteur ne nécessite pas de calibrage externe pour fournir une précision de $\pm _ \text{°C}$ sur une gamme de température de -55°C à $+150\text{°C}$.

Son coefficient est de 10mV/°C et dans notre cas le capteur est alimenté par une tension continue de 5V. Cette constatation implique que le capteur utilisé permet de mesurer des températures positives.

Le capteur utilisé appartient à la classe des capteurs passifs, il est alimenté par une source de tension. Ce capteur doit être protégé à l'aide d'une résistance placée entre ce dernier et la tension d'alimentation. Dans notre projet, nous avons utilisé une résistance de protection de $1\text{k}\Omega$. La figure suivante illustre le schéma du capteur utilisé.

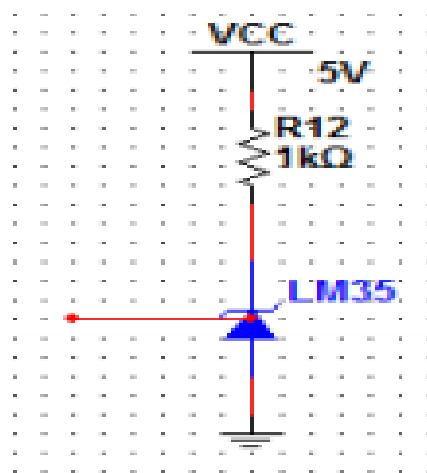


Figure IV.2 : circuit de conditionnement du capteur LM35.

Chapitre IV : la réalisation pratique d'un thermomètre digital.

Les variations de la tension à la sortie du capteur en fonction de la température sont représentées sur le tableau IV-1. Elles sont également représentées sur la figure IV-3

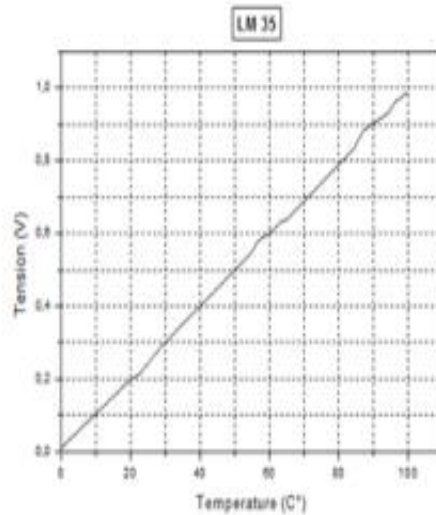


Figure IV.3 : Représentation de la température en fonction de la tension pour LM 35.

T(C°)	0	15	19	23	35	41	47	58	67	78	80	85	89	93	97	99	100
U(V)	0.01	0.15	0.26	0.31	0.35	0.42	0.46	0.57	0.59	0.61	0.65	0.84	0.89	0.91	0.93	0.96	0.99

On remarque que la courbe obtenue est une ligne droite positive qui passe par l'origine (0mV = 0°C). Ceci implique que le capteur utilisé représente clairement une linéarité.

IV.3.2 Diode 1N4001 :

Pour une meilleure sensibilité aux variations de température délivrées par le capteur, nous avons réalisé le pont de Wheatstone représenté sur la figure IV.4. Le pont est constitué de trois résistances et une diode 1N4001. Ce dernier est largement utilisé dans le conditionnement des différents capteurs.

Chapitre IV : la réalisation pratique d'un thermomètre digital.

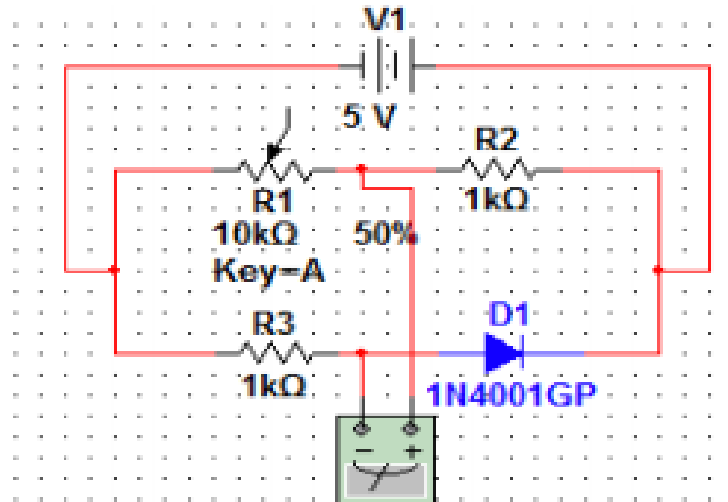


Figure IV.4 : circuit de conditionnement de la diode 1N4001.

Pour réaliser l'équilibre du pont on a plongé la diode dans la glace fondante (0°C) et on a agi sur le potentiomètre R1 jusqu'à avoir l'équilibre du pont. C'est-à-dire une tension VAB nulle. Les variations de la tension du pont VAB en fonction de la température sont représentées sur le tableau IV.2. elles sont ainsi représentées sur la figure IV.5.

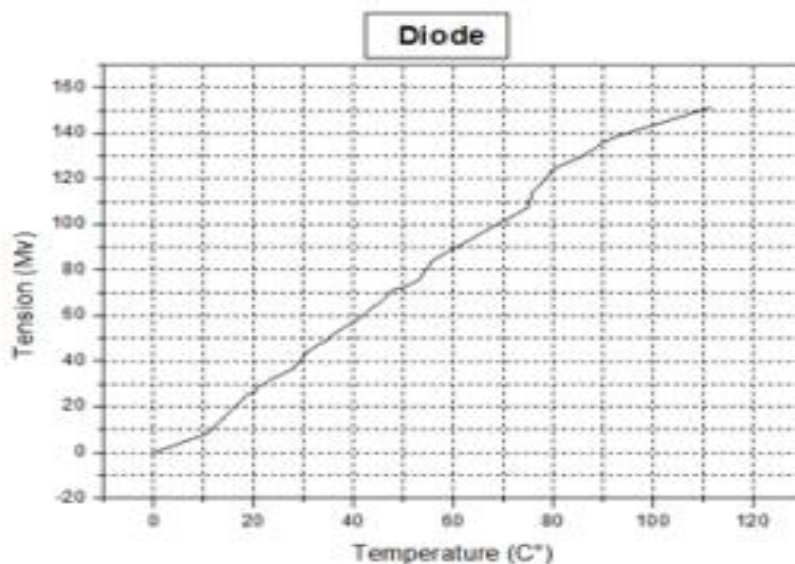


Figure IV.5 : Représentation de la température en fonction de la tension pour la diode 1N4001.

Chapitre IV : la réalisation pratique d'un thermomètre digital.

T(C°)	0	11	25	31	35	41	50	55	75	79	81	85	88	90	95	97	100	112
U(V)	0	8.4	25. 6	28. 5	31.6	34. 6	36. 8	51. 9	58. 2	69. 2	71. 8	72. 3	75.8	84.5	107.2	114.1	142.7	151.2

D'après les résultats obtenus on constate qu'il y a une linéarité partielle puisque certaines zones de la courbe ne sont pas linéaires. Heureusement, les températures du corps humain se situent dans la zone de linéarité.

IV.3- CHAÎNE DE MESURE DU THERMOMETRE ELECTRONIQUE :

La figure IV-6 représente le schéma électrique du thermomètre réalisé. Rappelons que ce dernier est constitué d'un régulateur de tension, un comparateur et un afficheur LCD. La conversion analogique numérique se fait à travers la carte Arduino.

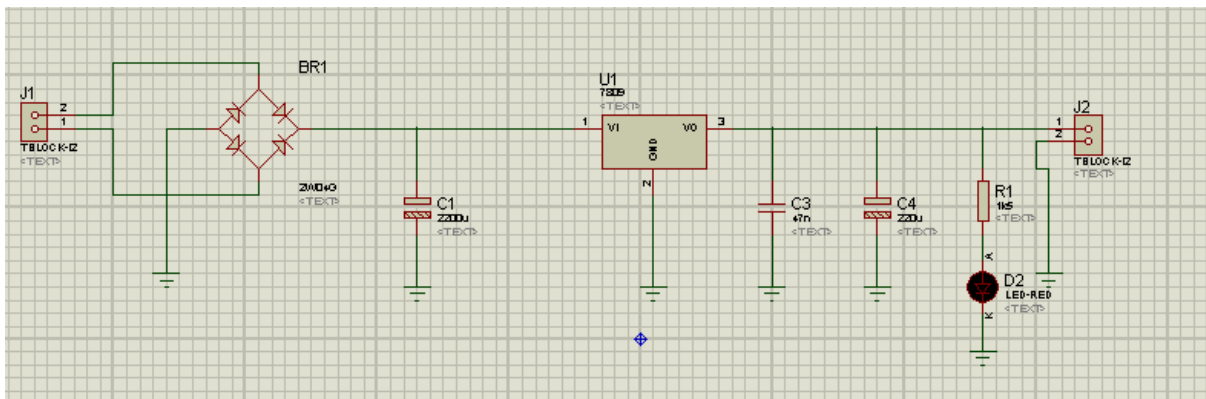


Figure IV.6 : Schéma électrique de l'alimentation.

En effet, le schéma électrique de l'alimentation contient quatre étages fonctionnels sont :

- ✓ **Etage abaisseur** : contient le transformateur abaisseur 9V, qui permet de passer d'une tension sinusoïdale de valeur élevée à une tension de même forme mais de valeur plus faible.
- ✓ **Etage redresseur** : contient le pont de Gratz constitué par quatre diodes qui sert à garder que la partie positive (ou négative) de la sinusoïde d'entrée.

Chapitre IV : la réalisation pratique d'un thermomètre digital.

- ✓ **Etage de filtrage** : formé de C1 ($C1=2200\mu\text{F}$) a pour rôle de maintenir la tension de sortie supérieure à une certaine valeur. Les valeurs des condensateurs C2 et C3 sont fixées à 220nF à $10\mu\text{F}$ respectivement. Ces valeurs sont conseillées par le constructeur pour réduire les bruits hautes fréquences et éviter tout risque d'oscillation parasite du régulateur.
- ✓ **Etage de régulation** : contient le régulateur de tension 7805, qui assure la tension de sortie constante quelque soit le courant demandé. Les constructeurs de composants électroniques proposent des régulateurs intégrés à trois bornes, très répandus, tels que la série 78XX positives et la 79XX négatives. Ces régulateurs sont faciles à utiliser et avec un prix dérisoire. En effet, les trois bornes sont : une pour la tension non régulée d'entrée, une pour la tension régulée de sortie et une pour la masse. Le schéma de principe est représenté sur la figure IV.7.

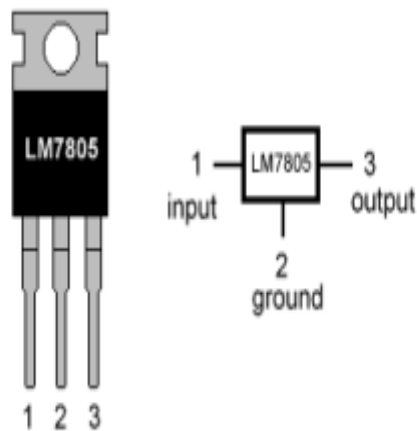


Figure IV.7 : régulateur de tension.

IV.3.1- Capteur utilisé :

Le LM35 fait partie des capteurs de température électroniques de précision en structure intégrée.

Le capteur LM35 est un capteur de température où la tension de sortie est linéairement proportionnelle à la température en Celsius centigrade. Ce capteur ne nécessite pas de calibrage externe pour fournir une précision de sur une gamme de température de -55°C à $+150^{\circ}\text{C}$. Son coefficient est de $10\text{mV}/^{\circ}\text{C}$ et dans notre cas le capteur est alimenté en 0-5V, on ne peut mesurer par conséquent que des températures positives.

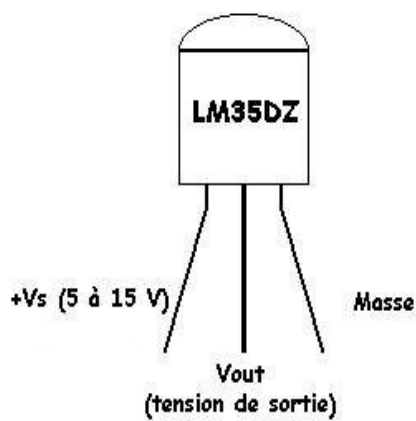


Figure IV.8 : capteur LM35.

Nous utilisons le régulateur intégré de tension (RIT 7805) du module CTN pour obtenir une tension régulée à 5 V. Le LM35DZ est un quadripôle même s'il n'a que trois pattes car sa patte de masse est commune à son alimentation et à sa sortie.

Un régulateur de chauffe peut être utilisé afin de ralentir l'élévation de température.

Durant toute l'enregistrement de la température, l'ordinateur est en fonctionnement car on place directement les valeurs expérimentales dans le tableur. La température (T) est relevée environ tous les 5°C .

Chapitre IV : la réalisation pratique d'un thermomètre digital.

En effet , il faut disposer d'une bonne connaissance du capteur et de l'utilisation de l'outil informatique pour conduire l'étude du capteur ne doit pas nous faire perdre le sens physique des résultats obtenus

Chaque capteur a un domaine de validité correspondant à son domaine d'utilisation. Le modèle retenu pour le LM35DZ permet son utilisation sur le domaine ; θ compris entre 0°C et 100°C.

Pour les capteurs linéaires, la valeur du coefficient directeur de la droite est une constante très intéressante. Par exemple : pour le LM35DZ la pente est de 9,34. Son unité est le mV/ °C .On en déduit que sa sensibilité est de 9,34 mV/°C.

Si le capteur est linéaire, on peut évaluer assez simplement l'erreur absolue. En effet si $y = ax + b$ et si Δx est l'erreur absolue sur x, alors $\Delta y = a \Delta x$. Vérifions :

$$U_s = 9,34E-3 \times \vartheta \quad \text{donc} \quad \vartheta = 107 \text{ us.}$$

$$\text{Si} \quad \Delta U_s = 5 \text{ mV} \quad \text{alors} \quad \Delta \vartheta = 0,5^\circ\text{C.}$$

Il n'y a pas un meilleur capteur mais un capteur mieux adapté à l'expérience que nous souhaitons réaliser.

Avant d'utiliser un capteur de température il faut donc bien le connaître ; Il est bon de refaire régulièrement l'étalonnage d'un capteur pour vérifier son bon fonctionnement.

IV.3.2- Arduino UNO :

La tension issue du LM35 sera appliquée à l'entrée du microcontrôleur afin de la numériser. Cette numérisation se fait à l'aide de la carte Arduino illustrée sur la figure suivante. Il faut connecter tous les fils de cavalier comme indiqué sur le schéma. Ensuite, il faut brancher la sortie du LM35 à la broche analogique 1 et assurez que le fil de terre reliée à la terre et +Vs à la broche 5V.

Chapitre IV : la réalisation pratique d'un thermomètre digital.

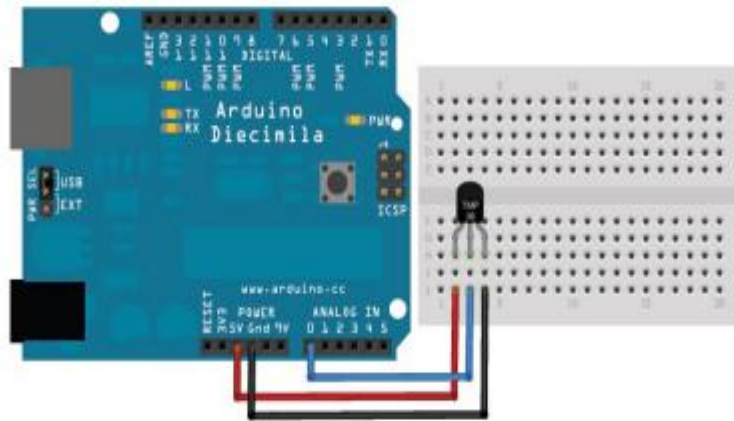


Figure IV.9 : montage LM35 avec Arduino.

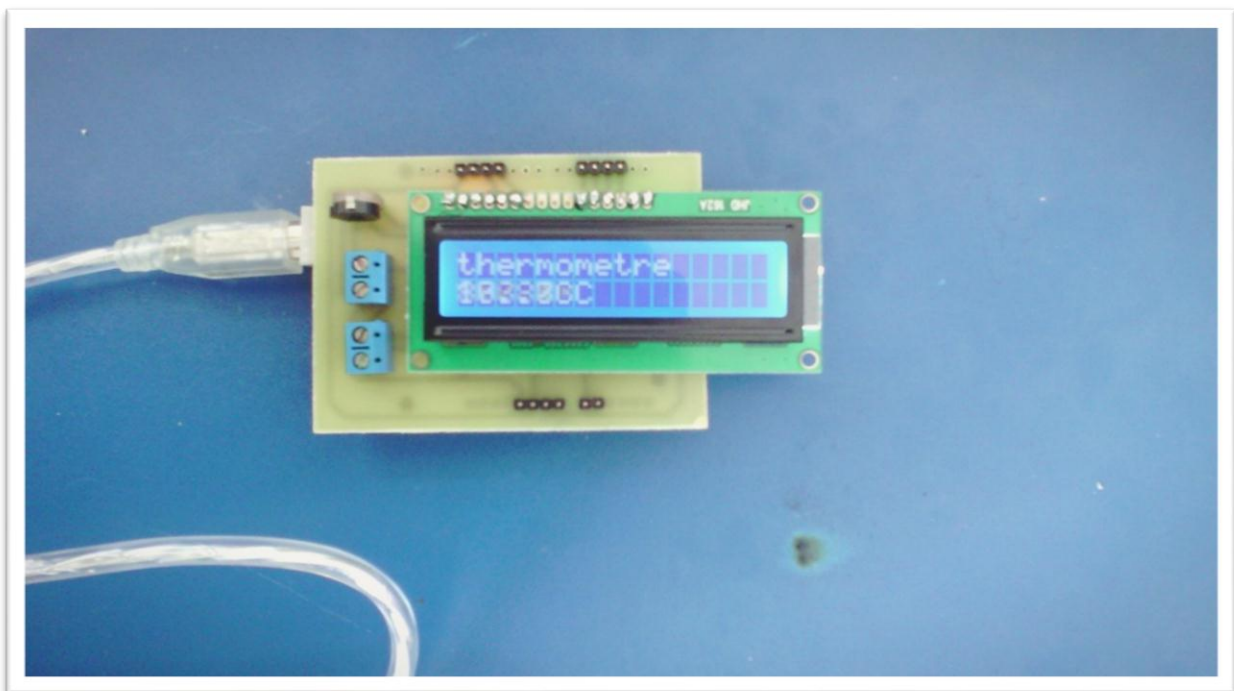


Figure VI.10 : photo du thermomètre digital à base d'Arduino.

IV.3.3 : Affichage :

L'afficheur LCD 2*16 L'afficheur LCD (liquid Crystal display) doit permettre de lire les températures. On souhaite donc afficher une chaîne de caractères en code ASCII à partir d'une position définie sur l'écran. On décompose cette fonction principale en sous-programmes pour obtenir une programmation plus claire et réutilisable.

Chapitre IV : la réalisation pratique d'un thermomètre digital.

Les afficheurs LCD sont devenus indispensables dans les systèmes techniques qui nécessitent l'affichage de paramètres de fonctionnement. Grâce à la commande par une carte Arduino, ces afficheurs permettent de réaliser un affichage de messages aisés. Ils permettent également de créer ses propres caractères.

IV.3.3.1 : Description du brochage

Cette description est représentée sur le tableau suivant.

Broche	Nom	Niveau	Fonction
1	VSS	-	Masse
2	VDD	-	Alimentation positive (+5V).
3	VEE	0-5V	Cette tension permet, en la faisant varier entre 0 et +5V, le réglage du contraste de l'afficheur.
4	RS	TTL	Selection du registre (Register Select) Grâce à cette broche, l'afficheur est capable de faire la différence entre une commande et une donnée. Un niveau bas indique une commande et un niveau haut indique une donnée.
5	RW	TTL	Lecture ou écriture (Read/Write) L : Écriture H : Lecture
6	E	TTL	Entrée de validation (Enable) active sur front descendant. Le niveau haut doit être maintenue pendant au moins 450 ns à l'état haut.
7	D0	TTL	Bus de données bidirectionnel 3 états (haute impédance lorsque E=0)
8	D1	TTL	
9	D2	TTL	
10	D3	TTL	
11	D4	TTL	
12	D5	TTL	
13	D6	TTL	
14	D7	TTL	
15	A	-	Anode rétroéclairage (+5V)
16	K	-	Cathode rétroéclairage (masse)

Les broches 15 et 16 ne sont présentes que sur les afficheurs LCD avec retro éclairage. Les connexions à réaliser sont simples puisque l'afficheur LCD dispose de peu de broches. Il faut évidemment, l'alimenter, le connecter à un bus de donnée (4 ou 8 bits), et connecter les broches **E**, **R/W** et **RS**.

Chapitre IV : la réalisation pratique d'un thermomètre digital.

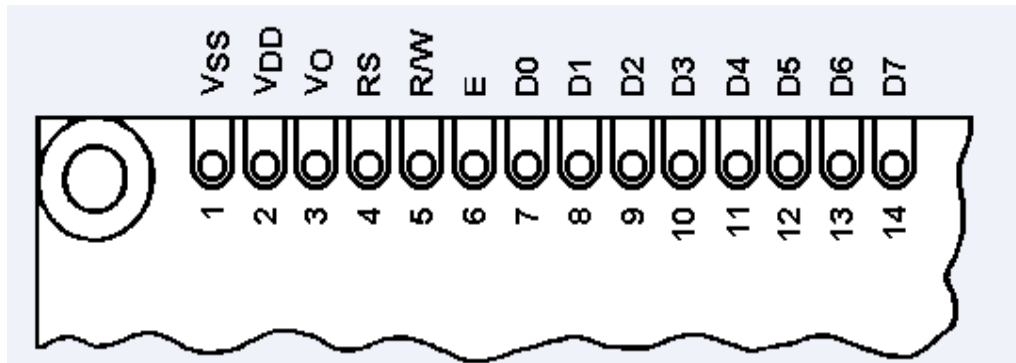


Figure IV. 11 : Présentation d'un afficheur LCD.

IV.3.3 .2 : Fonctionnement de l'afficheur LCD :

Un afficheur LCD est capable d'afficher tous les caractères alphanumériques usuels et quelques Symboles supplémentaires. Pour certains afficheurs, il est même possible de créer ses propres Caractères. Chaque caractère est identifié par son code ASCII qu'il faut envoyer sur les lignes D0 à D7 broches 7 A 14. Ces lignes sont aussi utilisées pour la gestion de l'affichage avec l'envoi d'instructions telles Que l'effacement de l'écran, l'écriture en ligne 1 ou en ligne 2, le sens de défilement du curseur.

IV.3.3.3 : Les avantages et les inconvénients des écrans LCD :

a) Les avantages :

la faible consommation d'énergie qui est inférieure a celle des écrans CRT et l'absence de dégagement de chaleur. Au niveau de la qualité de l'image, les écrans LCD actuels, démontrant de très bons niveaux de gris et de couleur.

b) Les inconvénients :

Manques de luminosité, contraste limite et couleur peu sature. Temps de repense insuffisant pour les images animées et surtout l'angle de vision trop faible.

Chapitre IV : la réalisation pratique d'un thermomètre digital.

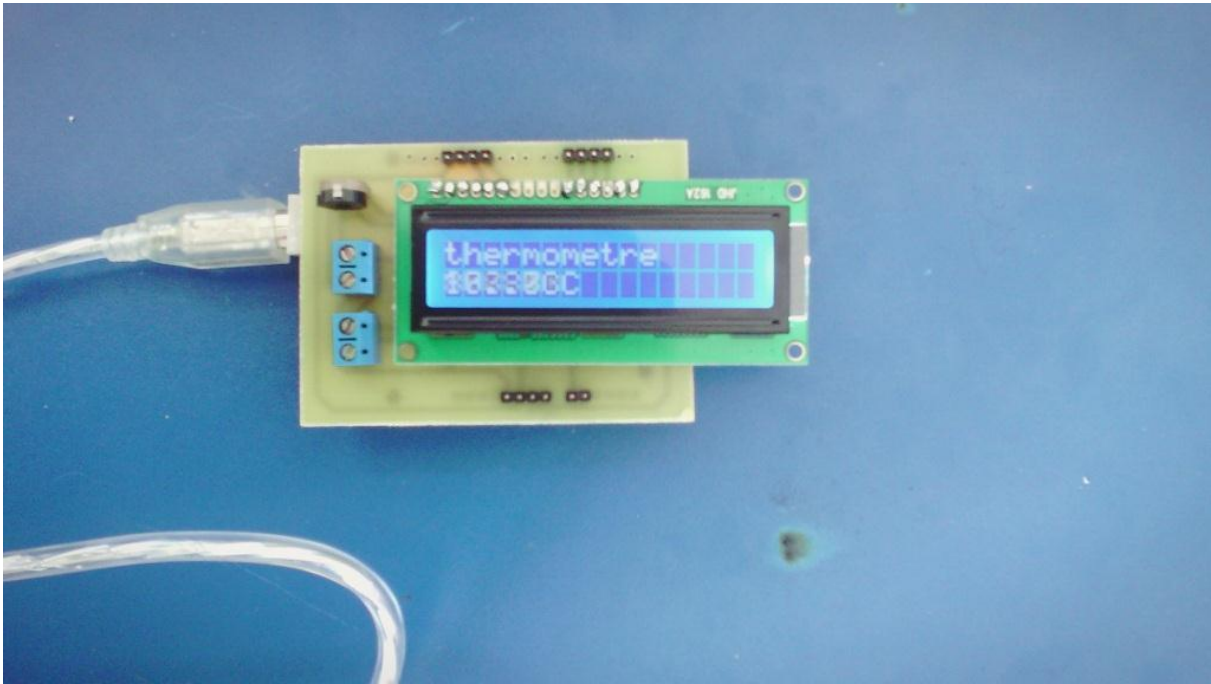


Figure IV.11 : Photo de l'afficheur LCD monté sur Arduino.

IV.3.4 : Comparateur à fenêtre :

Pour donner un aspect de monitoring à ce thermomètre on a ajouté un comparateur. Ce comparateur a été étudié pour donner une indication de la température au moyen de trois LED :

- ✓ une jaune pour "froid".
- ✓ une verte pour "tiède".
- ✓ une rouge pour "chaud".

Les trois températures de consigne peuvent individuellement être ajustées entre 10 °C et 80 °C.

Ce comparateur à fenêtre peut nous être utile dans divers domaines, on peut citer quelques exemples :

- La régulation de température dans un réfrigérateur, four, chauffe-eau ...etc.
- Monitoring de température d'un malade.
- Monitoring de température ambiante dans un bloc-opératoire.

Un capteur de température de type LM35 est associé à des AOP montés en comparateurs de tension, et ces derniers sont suivis d'un encodeur de priorité de la famille CMOS CD4000. Nous le verrons plus loin, on peut se passer de cet encodeur si on accepte un mode d'affichage différent.

Chapitre IV : la réalisation pratique d'un thermomètre digital.

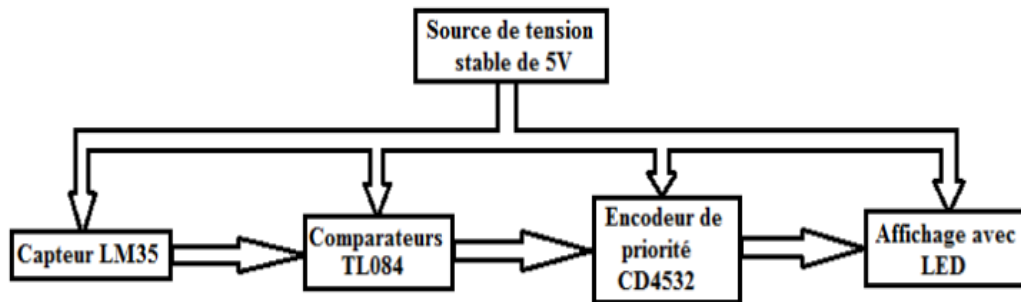


Figure IV.12 : Schéma synoptique du comparateur.

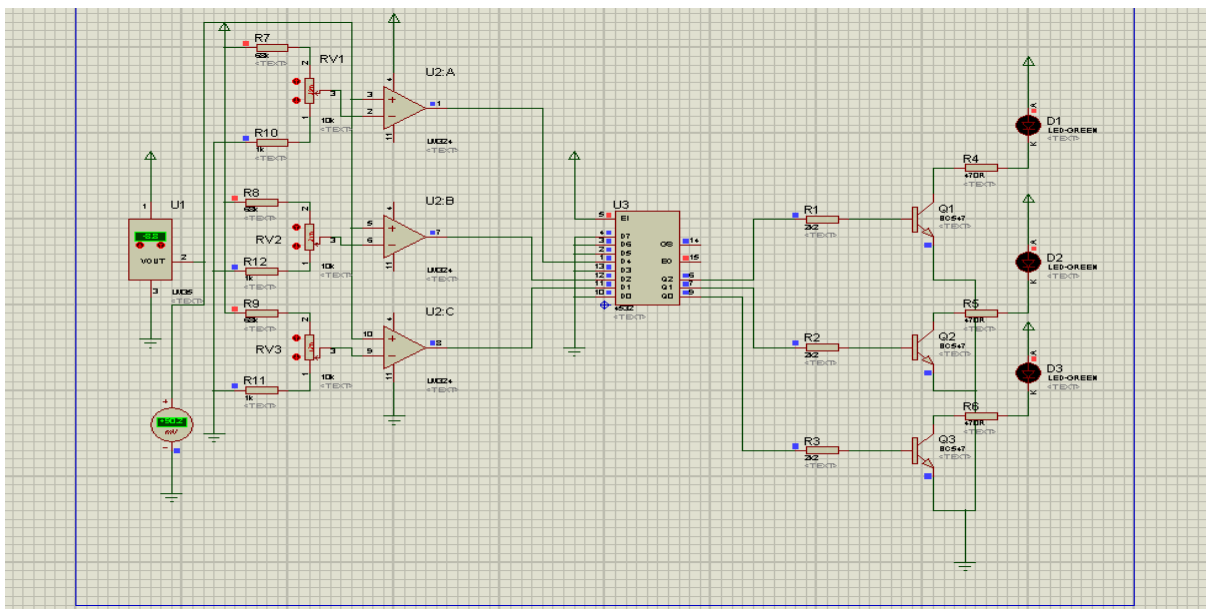


Figure IV.13 : Schéma électrique du comparateur à fenêtre.

Chapitre IV : la réalisation pratique d'un thermomètre digital.

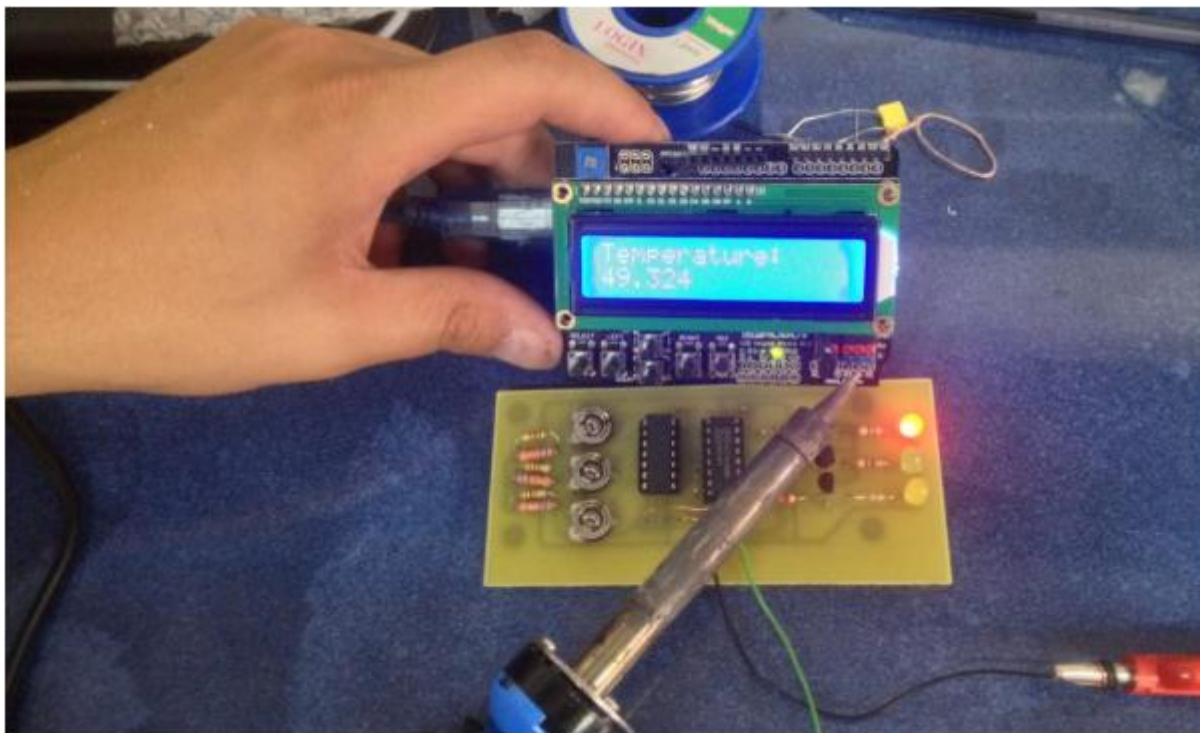


Figure IV.14: Photo du comparateur.

IV.3.4 .1 : Etage de comparaison :

Pour le comparateur on s'est mis d'accord pour un boîtier TL084 qui contient quatre AOP, ce dernier peut être remplacé par un LM324 et qui est tout aussi répandu. Les comparateurs sont tous utilisés de la même façon.

On applique sur leur entrée inverseuse une tension de référence qui correspond à la température à partir de laquelle on décide d'allumer les LED, et on applique sur leur entrée non-inverseuse la tension qui sort du LM35 et qui est fonction de la température. Prenons l'exemple du comparateur U2B qui est utilisé pour l'allumage de la LED "Froid".

Le rapport température sur tension est le même pour les valeurs de consigne et pour la valeur mesurée, à savoir $10 \text{ mV} / ^\circ\text{C}$.

Si on veut que la LED "Froid" s'allume au-delà de 20 degrés, il suffit de régler le potentiomètre RV1 de telle sorte qu'on ait sur son curseur une tension de 200 mV.

Chapitre IV : la réalisation pratique d'un thermomètre digital.

Pour un basculement à 25 °C, il faudrait régler RV1 pour disposer d'une tension de seuil de 250 mV. Même chose pour les autres réglages de seuils assurés par les potentiomètres ajustables RV2 (tiède) et RV3 (chaud).

Comme les trois comparateurs sont montés en "parallèle" et de façon indépendante, le fonctionnement est le suivant :

- ❖ La sortie du comparateur U2:B passe à l'état haut si la température mesurée est supérieure à la température de consigne "froid" (mesurable en SL).
- ❖ La sortie du comparateur U2:A passe à l'état haut si la température mesurée (mesurable en TP1) est supérieure à la température de consigne "tiède" (mesurable en SM).
- ❖ La sortie du comparateur U2:D passe à l'état haut si la température mesurée (mesurable en TP1) est supérieure à la température de consigne "chaud" (mesurable en SH).
- ❖ La sortie du comparateur U2: C'est dans un état quelque peu indéterminé et on s'en fiche, pour une fois.

IV.3.4 .2 : Encodeur de priorité :

Notez qu'avec ce type de fonctionnement, on peut avoir une, deux ou trois LED allumées selon le nombre de seuils dépassés.

Pour n'avoir qu'une seule LED allumée à la fois, on a décidé d'utiliser... un encodeur de priorité. C'est une solution parmi d'autres qui reste optionnelle et qu'on à utiliser ici vu le contexte de ce projet.

Un encodeur de priorité dispose de plusieurs entrées et de plusieurs sorties, ces dernières sont activées ou désactivées selon l'état des entrées.

L'encodeur choisi est un CD4532, qui dispose de 8 entrées et de 3 sorties codées en binaire. Le code binaire de sortie dépend de l'entrée de plus haut niveau activée. Si aucune entrée n'est activée, la sortie est à "000".

Chapitre IV : la réalisation pratique d'un thermomètre digital.

Si une seule entrée est activée, la sortie est le reflet en binaire de sa position (sortie "000" si entrée D0 activée, sortie "001" si entrée D1 activée, sortie "010" si entrée D2 activée, sortie "011" si entrée D3 activée, sortie "100" si entrée D4 activée, etc.).

Si plusieurs entrées sont activées en même temps, l'entrée de plus haut rang est prioritaire et c'est elle qui est prise en compte, les autres entrées sont ignorées. Dans le cas qui nous intéresse ici, on cherche à n'avoir qu'une seule LED allumée à la fois. On évite donc d'utiliser les entrées qui conduisent à avoir un code binaire de sortie où il y a plusieurs sorties actives en même temps.

IV.3.4.3 : Affichage avec LED :

Les seuls codes binaires qui nous intéressent sont finalement "001", "010" et "100", qui correspondent respectivement aux entrées D1, D2 et D4.

Ces entrées D1, D2 et D4 sont donc reliées sur les sorties des comparateurs, et les sorties de l'encodeur alimentent les LED via un petit transistor de type 2N2222 qui fait un amplificateur de courant.

Les transistors Q1 à Q3 sont conseillés voir indispensables si vous utilisez des LED standard qui réclament 10 mA à 20 mA pour s'allumer correctement, car le courant de sortie maximal du CD4532 n'est que de quelques mA sous une tension d'alimentation de 9V.

Si par contre vous utilisez des LED haute luminosité qui éclairent déjà fort bien sous quelques mA, elles peuvent être reliées directement sur les sorties Q0 à Q2 de l'encodeur de priorité. Pour le réglage des potentiomètres deux méthodes sont possibles :

- ❖ Soit on branche un multimètre sur les points SL, SM et SH et on règle les potentiomètres pour avoir les tensions de seuils qui correspondent aux températures désirées.
- ❖ Soit on met le capteur LM35 sous l'eau et on ajuste les potentiomètres pour avoir le basculement à la température désirée et sentie à la main.

Rien ne nous empêche d'utiliser les deux méthodes, ça nous permettra de nous rendre compte, le cas échéant, que 55 °C n'est pas "tiède" pour tout le monde.

Chapitre IV : la réalisation pratique d'un thermomètre digital.

Conclusion :

Dans ce chapitre on a vu les différentes étapes du schéma électrique d'un thermomètre digital, on a fait des études expérimentales et on a réalisé le montage et voir l'affichage de température à l'aide d'un afficheur LCD. La numérisation de mesures a été faite à l'aide d'une carte Arduino. Le montage apparait simple mais efficace. En effet, le capteur utilisé permet la linéarisation de la grandeur de sortie ce qui facilite le reste du tâches notamment celle du conditionnement.

Conclusion générale

Cette étude était focalisée principalement sur la conception d'un thermomètre électronique digital en mettant en œuvre et en évidence quelques bases d'électroniques générale, l'électronique numérique et par l'utilisation de capteurs adéquats à cet effet.

Pour aborder ce travail, nous avons sélectionné le capteur approprié grâce à sa précision et à sa meilleur linéarité le long d'un large intervalle de valeurs mesurées et confrontées. Ensuite nous avons pu réaliser les différentes parties de la chaine de mesure constituant notre appareil. Ce dispositif électronique comprend ainsi l'alimentation, le capteur, le microcontrôleur, un comparateur et finalement un afficheur. La mise en marche du thermomètre à l'aide de plusieurs essais selon des sources de chaleur est établie pour bien élucider la température affichée selon un comparateur contenant uniquement des LEDs de couleur différentes.

La suite de notre travail a consisté à l'utilisation du microcontrôleur qui permet la réalisation de la conversion numérique et l'acquisition des données en utilisant Arduino Uno. Cet instrument a la possibilité d'effectuer les calculs pour afficher la température sur un afficheur LCD. Néanmoins, il est à signaler qu'au cours de nos essais au laboratoire, le manque de composantes était une contrainte gênant considérablement notre travail pratique.

Finalement nous pouvant dire que ce modeste travail n'est pas une fin en soi-même mais pouvant servir et aider tous ce qui seront intéressés par la mesure de la température. Les intérêts de thermomètres à modèles réduits seront d'une utilité certaine et d'une grande importance dans divers domaines d'interventions.

NOMENCLATURE

➤ **Les résistances :**

R1=R2=R3=2.2kΩ

R4=R5=R6=470Ω

R7=R8=R9=68KΩ

R10=R11=R1=1KΩ

➤ **Les capacités :**

C1= 2200nF

C2 =220nF

C2=10μF

➤ **Les résistances variables :**

RV1 =RV2= RV3=10kΩ

➤ **Les diodes :**

D1 : rouge

D2 : verte

D3 : jaune

➤ **Les transistors :**

Q1=Q2=Q3= BC547

➤ **Les circuits intégrés :**

U1 : LM7805

U2 : TL084

U3 : CD4532

U4 : LM35

TR1 : Transformateur 9v

BR1 : Pont de diode

SIM1 : μcontrôleur Arduino Uno

LCD1 : Afficheur LCD

ANNEXES

ANNEXE 1



1N4001 - 1N4007

1.0A RECTIFIER

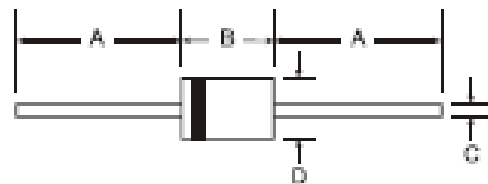
[Please click here to visit our online spice models database.](#)

Features

- Diffused Junction
- High Current Capability and Low Forward Voltage Drop
- Surge Overload Rating to 30A Peak
- Low Reverse Leakage Current
- Lead Free Finish, RoHS Compliant (Note 3)

Mechanical Data

- Case: DO-41
- Case Material: Molded Plastic, UL Flammability Classification Rating 94V-0
- Moisture Sensitivity: Level 1 per J-STD-020D
- Terminals: Finish - Bright Tin, Plated Leads Solderable per MIL-STD-202, Method 208
- Polarity: Cathode Band
- Mounting Position: Any
- Ordering Information: See Page 2
- Marking: Type Number
- Weight: 0.30 grams (approximate)



Dim	DO-41 Plastic	
	Min	Max
A	25.40	—
B	4.08	5.21
C	0.71	0.864
D	2.00	2.72
All Dimensions in mm		

Maximum Ratings and Electrical Characteristics @T_A = 25°C unless otherwise specified

Single phase, half wave, 60Hz, resistive or inductive load.
For capacitive load, derate current by 20%.

Characteristic	Symbol	1N4001	1N4002	1N4003	1N4004	1N4005	1N4006	1N4007	Unit	
Peak Repetitive Reverse Voltage	V _{RRM}	50	100	200	400	600	800	1000	V	
Working Peak Reverse Voltage	V _{WRM}	50	100	200	400	600	800	1000	V	
DC Blocking Voltage	V _D	50	100	200	400	600	800	1000	V	
RMS Reverse Voltage	V _{RRM(RMS)}	35	70	140	280	420	560	700	V	
Average Rectified Output Current (Note 1) @ T _A = 75°C	I _O	1.0							A	
Non-Repetitive Peak Forward Surge Current 8.3ms single half sine-wave superimposed on rated load	I _{FSM}	30							A	
Forward Voltage @ I _F = 1.0A	V _{FM}	1.0							V	
Peak Reverse Current @T _A = 25°C	I _{RM}	5.0							μA	
at Rated DC Blocking Voltage @ T _A = 100°C	I _{RM}	50							μA	
Typical Junction Capacitance (Note 2)	C _J	15				8				pF
Typical Thermal Resistance Junction to Ambient	R _{θJA}	100							K/W	
Maximum DC Blocking Voltage Temperature	T _A	+150							°C	
Operating and Storage Temperature Range	T _A T _{STG}	-65 to +150							°C	

- Notes:
1. Leads maintained at ambient temperature at a distance of 8.5mm from the case.
 2. Measured at 1.0 MHz and applied reverse voltage of 4.0V DC.
 3. EU Directive 2002/95/EC (RoHS): All applicable RoHS exemptions applied, see EU Directive 2002/95/EC Annex Notes.

ANNEXE 2

TE2 - Pt100 Temperature Sensors

Case in stainless steel

Wetted parts in acid-proof, stainless steel or PEEK

Maintenance-free, hygienic, conical tightening metal-to-metal or metal-to-PEEK

EHDG approval

Process temperature -50...250°C

Pt100 sensors, 2-wire (single or duplex element)

DIN A or B (1/1 or 1/3) elements

Standard or fast response sensor tip

Integrated temperature transmitter (Option)

Industrial M12 plug

Defined weld-in position (M12 plug position)



Description

The TE2 Pt100 temperature sensor system has a stainless steel case with a build-in plug.

All models can be supplied as a "small, smart sensor" with an integrated, fixed-range temperature transmitter with a 4...20 mA output.

The system complies standard industrial process connections as well as hygienic connections with high cleanability and bacteria tightness.

Fast response sensor tips ensures accurate measurements. Standard DIN A or B, single or double elements connected via 2-, 3- or 4 wires can be supplied according to customers wishes.

The M12 process connection can be supplied with a PEEK cone for tightening (chuck cone). The FDA-approved PEEK material has very unique characteristics, such as high elasticity, non-floating and extremely resistant against abrasive and corrosive media. That makes it ideal for hygienic process applications.

The non-hygienic process connections are used in the general industry such as measurements on water and steam whereas the hygienic connections are ideal in CIP systems, breweries, dairies and in the pharmaceutical industry.



ANNEXE 3



LM135, LM135A, LM235, LM235A, LM335, LM335A

SNDS135E – MAY 1989 – REVISED FEBRUARY 2015

LMx35, LMx35A Precision Temperature Sensors

1 Features

- Directly Calibrated to the Kelvin Temperature Scale
- 1°C Initial Accuracy Available
- Operates from 400 μ A to 5 mA
- Less than 1- Ω Dynamic Impedance
- Easily Calibrated
- Wide Operating Temperature Range
- 200°C Overrange
- Low Cost

2 Applications

- Power Supplies
- Battery Management
- HVAC
- Appliances

3 Description

The LM135 series are precision, easily-calibrated, integrated circuit temperature sensors. Operating as a 2-terminal zener, the LM135 has a breakdown voltage directly proportional to absolute temperature at 10 mV/°K. With less than 1- Ω dynamic impedance, the device operates over a current range of 400 μ A to 5 mA with virtually no change in performance. When calibrated at 25°C, the LM135 has typically less than 1°C error over a 100°C temperature range. Unlike other sensors, the LM135 has a linear output.

Applications for the LM135 include almost any type of temperature sensing over a -55°C to 150°C temperature range. The low impedance and linear output make interfacing to readout or control circuitry an especially easy.

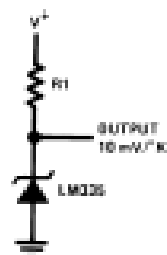
The LM135 operates over a -55°C to 150°C temperature range while the LM235 operates over a -40°C to 125°C temperature range. The LM335 operates from -40°C to 100°C. The LMx35 devices are available packaged in hermetic TO transistor packages while the LM335 is also available in plastic TO-92 packages.

Device Information⁽¹⁾

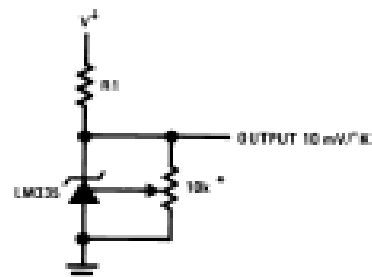
PART NUMBER	PACKAGE	BODY SIZE (NOM)
LM135	TO-46 (3)	4.699 mm × 4.699 mm
LM135A		
LM235	TO-60 (3)	4.30 mm × 4.30 mm
LM235A		
LM335	SOIC (8)	4.90 mm × 3.91 mm
LM335A		

(1) For all available packages, see the orderable addendum at the end of the datasheet.

Basic Temperature Sensor Simplified Schematic

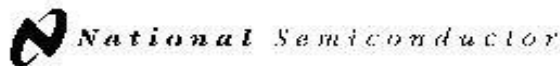


Calibrated Sensor



An IMPORTANT NOTICE at the end of this data sheet addresses availability, warranty, changes, use in safety-critical applications, intellectual property matters and other important disclaimers. PRODUCTION DATA.

ANNEXE 4



November 2000

LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors

General Description

The LM35 series are precision integrated-circuit temperature sensors, whose output voltage is linearly proportional to the Celsius (Centigrade) temperature. The LM35 thus has an advantage over linear temperature sensors calibrated in Kelvin, as the user is not required to subtract a large constant voltage from its output to obtain convenient Centigrade scaling. The LM35 does not require any external calibration or trimming to provide typical accuracies of $\pm 1/4^\circ\text{C}$ at room temperature and $\pm 3/4^\circ\text{C}$ over a full -55 to $+150^\circ\text{C}$ temperature range. Low cost is assured by trimming and calibration at the wafer level. The LM35's low output impedance, linear output, and precise inherent calibration make interfacing to readout or control circuitry especially easy. It can be used with single power supplies, or with plus and minus supplies. As it draws only $60\ \mu\text{A}$ from its supply, it has very low self-heating, less than 0.1°C in still air. The LM35 is rated to operate over a -55° to $+150^\circ\text{C}$ temperature range, while the LM35C is rated for a -40° to $+110^\circ\text{C}$ range (-10° with improved accuracy). The LM35 series is available pack-

aged in hermetic TO-46 transistor packages, while the LM35C, LM35CA, and LM35D are also available in the plastic TO-92 transistor package. The LM35D is also available in an 8-lead surface mount small outline package and a plastic TO-220 package.

Features

- Calibrated directly in $^\circ\text{Celsius}$ (Centigrade)
- Linear $+10.0\ \text{mV}/^\circ\text{C}$ scale factor
- 0.5°C accuracy guaranteeable (at $+25^\circ\text{C}$)
- Rated for full -55° to $+150^\circ\text{C}$ range
- Suitable for remote applications
- Low cost due to wafer-level trimming
- Operates from 4 to 30 volts
- Less than $60\ \mu\text{A}$ current drain
- Low self-heating, 0.08°C in still air
- Nonlinearity only $\pm 1/4^\circ\text{C}$ typical
- Low impedance output, $0.1\ \Omega$ for $1\ \text{mA}$ load

Typical Applications

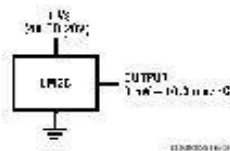
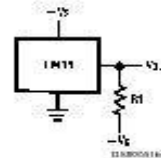


FIGURE 1. Basic Centigrade Temperature Sensor ($+2^\circ\text{C}$ to $+150^\circ\text{C}$)



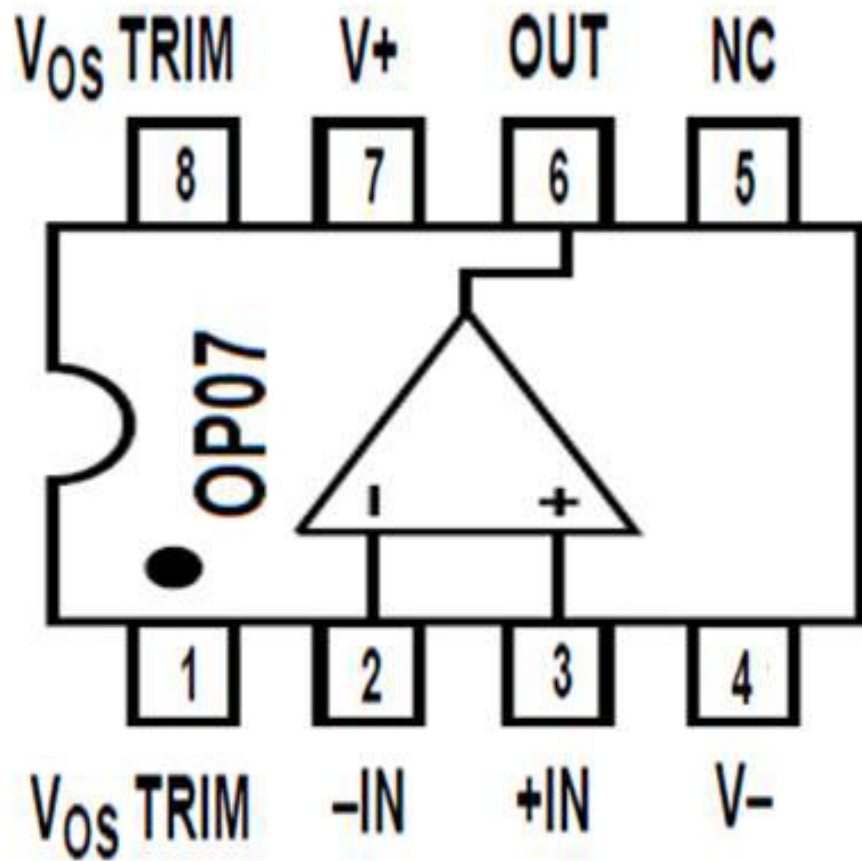
Choose $R_1 = -V_{DD}/50\ \mu\text{A}$
 $V_{\text{OUT}} = +1.500\ \text{mV}$ at $+150^\circ\text{C}$
 $= +250\ \text{mV}$ at $+25^\circ\text{C}$
 $= -550\ \text{mV}$ at -55°C

FIGURE 2. Full-Range Centigrade Temperature Sensor

LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors

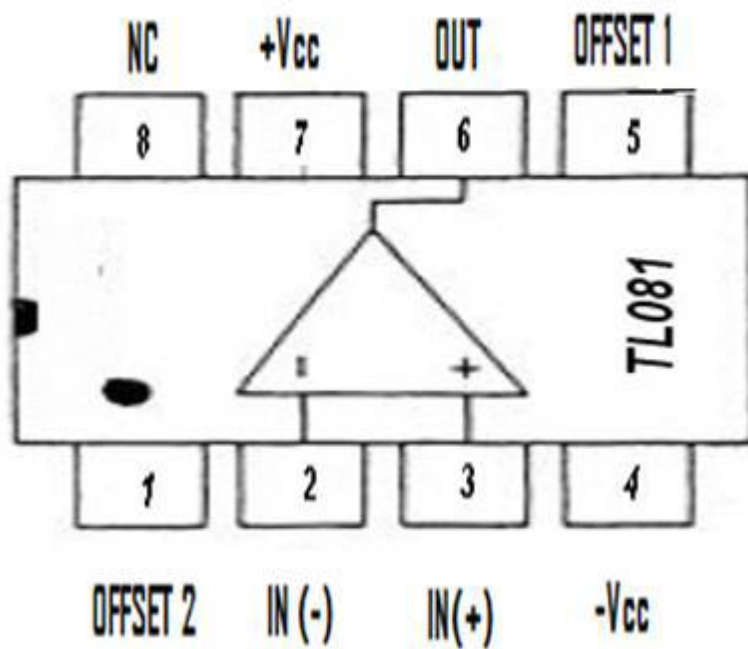
ANNEXE 5

NC = NO CONNECT



BROCHAGE DU CIRCUIT OP07

ANNEXE 6



BROCHAGE DU CIRCUIT TL 81

ANNEXE 7

CD4532B Types

CMOS 8-Bit Priority Encoder

High-Voltage Types (20-Volt Rating)

■ CD4532B consists of combination logic that encodes the highest priority input (D7-D0) to a 3-bit binary code. The eight inputs, D7 through D0, each have an assigned priority; D7 is the highest priority and D0 is the lowest. The priority encoder is inhibited when the chip-enable input E_1 is low. When E_1 is high, the binary representation of the highest-priority input appears on output lines O2-O0, and the group select line GS is high to indicate that priority inputs are present. The enable-out (E_0) is high when no priority inputs are present. If any one input is high, E_0 is low and all cascaded lower-order stages are disabled.

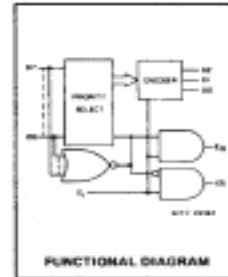
The CD4532B types are supplied in 16-lead hermetic dual-in-line ceramic packages (FSA suffix), 16-lead dual-in-line plastic packages (E suffix), 16-lead small-outline packages (ML, M96, MT, and NSR suffixes), and 16-lead thin shrink small-outline packages (PW and PWR suffixes).

Features:

- Converts from 1 of 8 to binary
- Provides cascading feature to handle any number of inputs
- Group select indicates one or more priority inputs
- Standardized, symmetrical output characteristics
- 100% tested for quiescent current at 20 V
- Maximum input current of 1 μ A at 18 V over full package temperature range; 100 nA at 18 V and 25°C
- Noise margin (full package-temperature range):
 - 0.5 V at $V_{DD} = 5$ V
 - 1.5 V at $V_{DD} = 10$ V
 - 1.5 V at $V_{DD} = 15$ V
- 5-V, 10-V, and 15-V parametric ratings
- Meets all requirements of JEDEC Tentative Standard No. 13B, "Standard Specifications for Description of 'B' Series CMOS Devices"

Applications:

- Priority encoder
- Binary or BCD encoder (keyboard encoding)
- Floating point arithmetic



RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS
 For maximum reliability, nominal operating conditions should be selected so that operation is always within the following ranges.

Characteristic	Min.	Max.	Units
Supply Voltage Range (for $T_A =$ Full Package Temp. Range)	3	18	V

MAXIMUM RATINGS, Absolute-Maximum Values:

DC SUPPLY-VOLTAGE RANGE, (V_{DD})

Voltages referenced to V_{SS} Terminal: -0.5 V to $+20$ V

INPUT VOLTAGE RANGE, ALL INPUTS: -0.5 V to $V_{DD} + 0.5$ V

DC INPUT CURRENT, ANY ONE INPUT: ± 10 mA

POWER DISSIPATION PER PACKAGE (P_{PD}):

For $T_A = -55^\circ\text{C}$ to $+100^\circ\text{C}$: 500 mW

For $T_A = +100^\circ\text{C}$ to $+125^\circ\text{C}$: Derate Linearly at 12 mW/ $^\circ\text{C}$ to 200 mW

DEVICE DISSIPATION PER OUTPUT TRANSISTOR

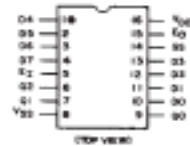
FOR $T_A =$ FULL PACKAGE-TEMPERATURE RANGE (All Package Types): 100 mW

OPERATING-TEMPERATURE RANGE (T_A): -55°C to $+125^\circ\text{C}$

STORAGE TEMPERATURE RANGE (T_{stg}): -65°C to $+150^\circ\text{C}$

LEAD TEMPERATURE (DURING SOLDERING):

At distance 1/16 \pm 1/32 inch (1.59 \pm 0.79 mm) from case for 10s max: $+250^\circ\text{C}$



CD4532B
 TERMINAL ASSIGNMENT

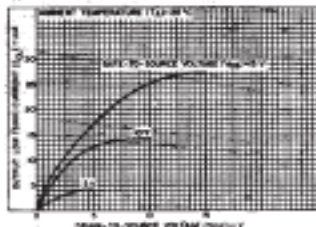


Fig. 1 - Typical output low (sink) current characteristics.

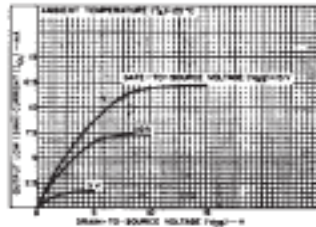


Fig. 2 - Minimum output low (sink) current characteristics.

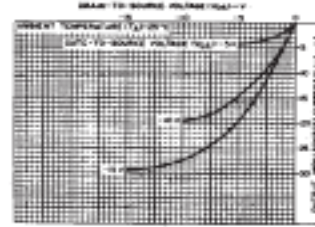


Fig. 3 - Typical output high (sourced) current characteristics.

COMMERCIAL CMOS HIGH VOLTAGE ICs

CD4532B Types

STATIC ELECTRICAL CHARACTERISTICS

CHARACTERISTIC	CONDITIONS			LIMITS AT INDICATED TEMPERATURES (°C)							UNITS
	V _O (V)	V _{IN} (V)	V _{DD} (V)					+25			
				-55	-40	+85	+125	Min.	Typ.	Max.	
Quiescent Device Current, I _{DD} Max.	-	0.5	5	5	5	150	150	-	0.04	5	μA
	-	0.10	10	10	10	300	300	-	0.04	10	
	-	0.15	15	20	20	600	600	-	0.04	20	
	-	0.20	20	100	100	3000	3000	-	0.08	100	
Output Low (Sink) Current, I _{OL} Min.	0.4	0.5	5	0.64	0.61	0.42	0.36	0.51	1	-	mA
	0.5	0.10	10	1.6	1.5	1.1	0.9	1.3	2.6	-	
	1.5	0.15	15	4.2	4	2.8	2.4	3.4	6.8	-	
Output High (Source) Current, I _{OH} Min.	4.6	0.5	5	-0.64	-0.61	-0.42	-0.36	-0.51	-1	-	mA
	2.5	0.5	5	-2	-1.8	-1.3	-1.15	-1.6	-3.2	-	
	9.5	0.10	10	-1.6	-1.5	-1.1	-0.9	-1.3	-2.6	-	
	13.5	0.15	15	-4.2	-4	-2.8	-2.4	-3.4	-6.8	-	
Output Voltage: Low Level, V _{OL} Max.	-	0.5	5				0.05	-	0	0.05	V
	-	0.10	10				0.05	-	0	0.05	
	-	0.15	15				0.05	-	0	0.05	
Output Voltage: High Level, V _{OH} Min.	-	0.5	5				4.95	4.95	5	-	V
	-	0.10	10				9.95	9.95	10	-	
	-	0.15	15				14.95	14.95	15	-	
Input Low Voltage, V _{IL} Max.*	0.5, 4.5	-	5				1	-	-	1.5	V
	1, 9	-	10				2.5	-	-	3	
	1.5, 13.5	-	15				8	-	-	4	
Input High Voltage, V _{IH} Min.*	0.5, 4.5	-	5				4	3.5	-	-	V
	1, 9	-	10				7.5	7	-	-	
	1.5, 13.5	-	15				12	11	-	-	
Input Current, I _{IH} Max.		0.18	18	10.1	10.1	11	11	-	±10 ⁻⁵	10.1	μA

*One input is tested at a time; other inputs should be at V_{DD} or V_{SS}. For testing all inputs at V_{IL} and V_{IH} levels, use 20%/80% V_{DD}.

DYNAMIC ELECTRICAL CHARACTERISTICS at T_A=25°C, C_L=50 pF, Input t_r, t_f=20 ns, R_L=200 kΩ

CHARACTERISTIC	TEST CONDITIONS V _{DD} VOLTS	LIMITS		UNITS
		TYP.	MAX.	
Propagation Delay Time t _{PHL} , t _{PLH} E ₁ to E _Q , E ₁ to G _S	5	110	220	ns
	10	95	110	
	15	45	85	
E ₁ to Q _m , D _n to G _S	5	170	340	ns
	10	85	170	
	15	65	125	
D _n to Q _m	5	220	440	ns
	10	110	220	
	15	85	160	
Transition Time t _{THL} , t _{TLH}	5	100	200	ns
	10	50	100	
	15	40	80	
Input Capacitance C _{IN}	Any Input	5	7.5	pF

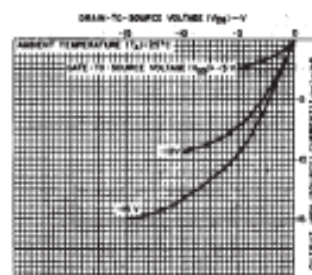


Fig. 4 - Minimum output high (source) current characteristics.

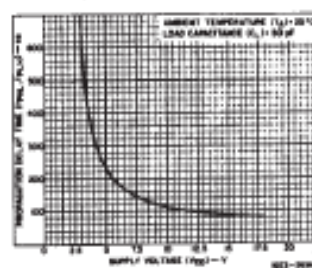


Fig. 5 - Typical propagation delay (D_n to Q_m) vs. supply voltage.

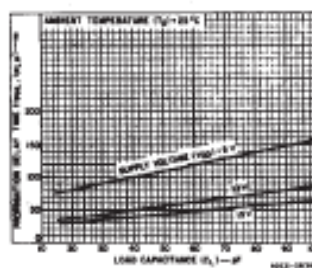


Fig. 6 - Typical propagation delay (E₁ to G_S, E₁ to E_Q) vs. load capacitance.

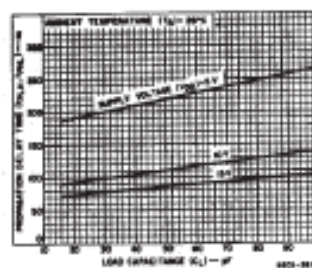


Fig. 7 - Typical propagation delay (D_n to Q_m) vs. load capacitance.

CD4532B Types

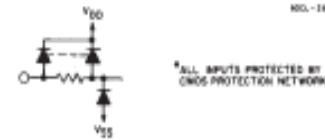
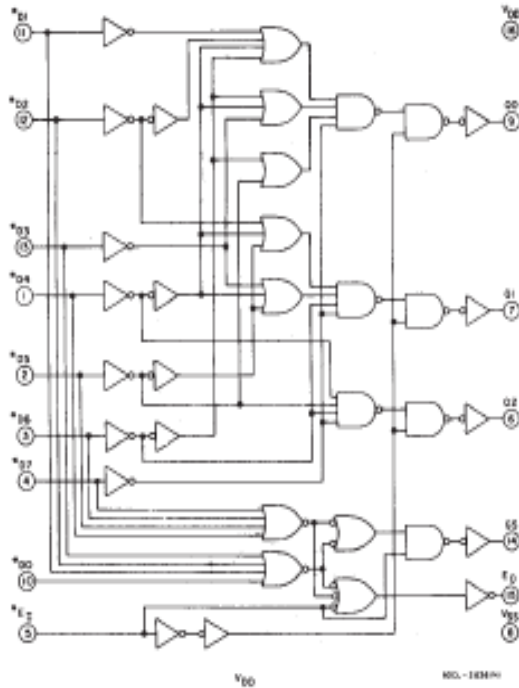


Fig. 8 - CD4532 logic diagram.

TRUTH TABLE

Input									Output					
E ₁	D ₇	D ₆	D ₅	D ₄	D ₃	D ₂	D ₁	D ₀	Q ₈	Q ₇	Q ₆	Q ₅	Q ₄	Q ₃
0	X	X	X	X	X	X	X	X	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
1	1	X	X	X	X	X	X	X	1	1	1	1	1	0
1	0	1	X	X	X	X	X	X	1	1	1	1	0	0
1	0	0	1	X	X	X	X	X	1	1	1	0	1	0
1	0	0	0	1	X	X	X	X	1	1	0	0	0	0
1	0	0	0	0	1	X	X	X	1	0	1	1	0	0
1	0	0	0	0	0	1	X	X	1	0	1	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	1	X	1	0	0	1	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0

X - Don't Care

Logic 1 = High

Logic 0 = Low

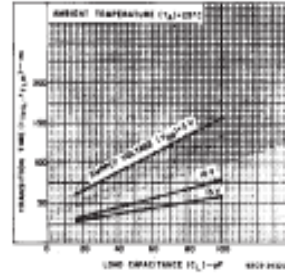


Fig. 9 - Typical transition time vs. load capacitance.

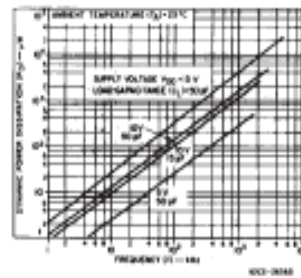


Fig. 10 - Typical dynamic power dissipation vs. frequency.

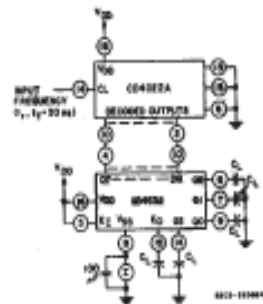


Fig. 11 - Dynamic power dissipation test circuit.

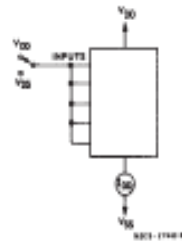


Fig. 12 - Quiescent device current test circuit.

3
COMMERCIAL CMOS
HIGH VOLTAGE ICs

CD4532B Types

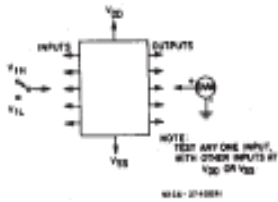


Fig. 13 - Input voltage test circuit.

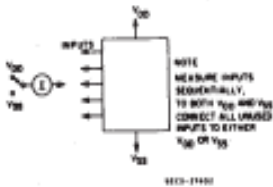
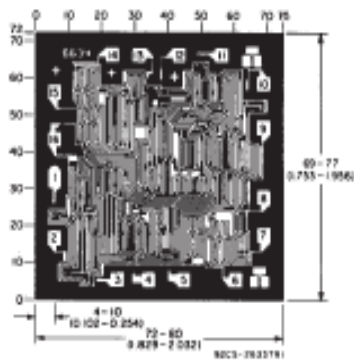


Fig. 14 - Input current test circuit.



Dimensions in parentheses are in millimeters and are derived from the basic inch dimensions as indicated. Grid graduations are in mils (10^{-3} inch).

Dimensions and pad layout for CD4532B.

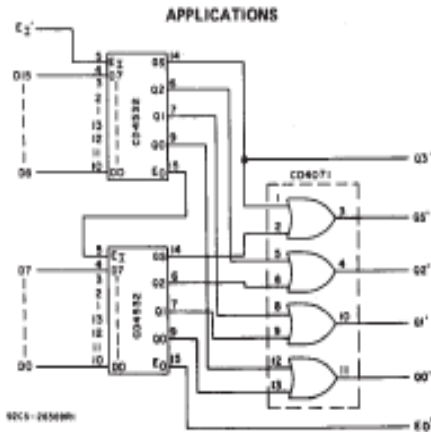
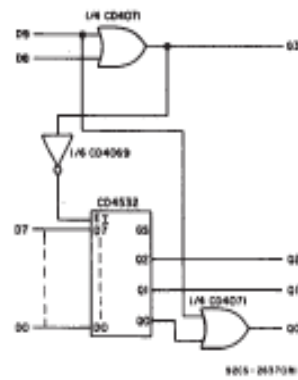


Fig. 15 - 16-level priority encoder.



TRUTH TABLE

Input										Output				
D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	G5'	G3'	G2'	G1'	G0'
1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	0	1	0	0	1
0	1	X	X	X	X	X	X	X	X	0	1	0	0	0
0	0	1	X	X	X	X	X	X	X	1	0	1	1	1
0	0	0	1	X	X	X	X	X	X	1	0	1	1	0
0	0	0	0	1	X	X	X	X	X	1	0	1	0	1
0	0	0	0	0	1	X	X	X	X	1	0	1	0	0
0	0	0	0	0	0	1	X	X	X	1	0	0	1	1
0	0	0	0	0	0	1	X	X	X	1	0	0	1	0
0	0	0	0	0	0	0	1	X	X	1	0	0	0	1
0	0	0	0	0	0	0	0	1	X	1	0	0	0	0

X = Don't Care

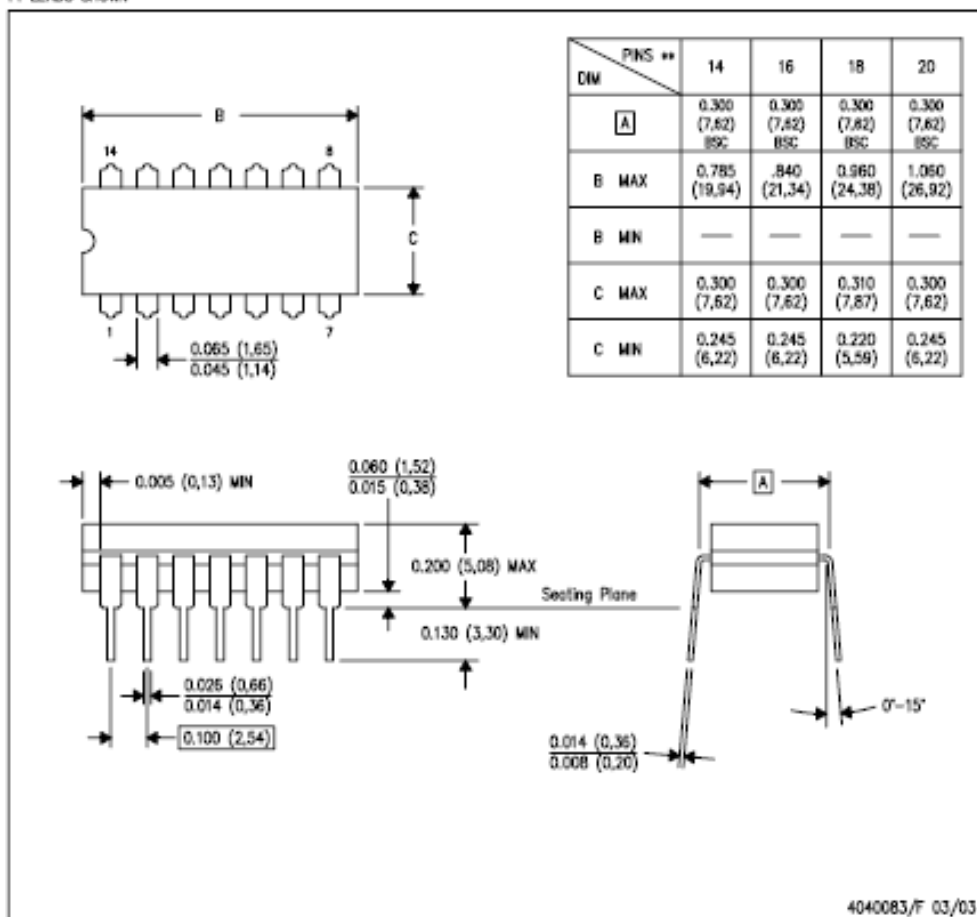
Logic 1 = High

Logic 0 = Low

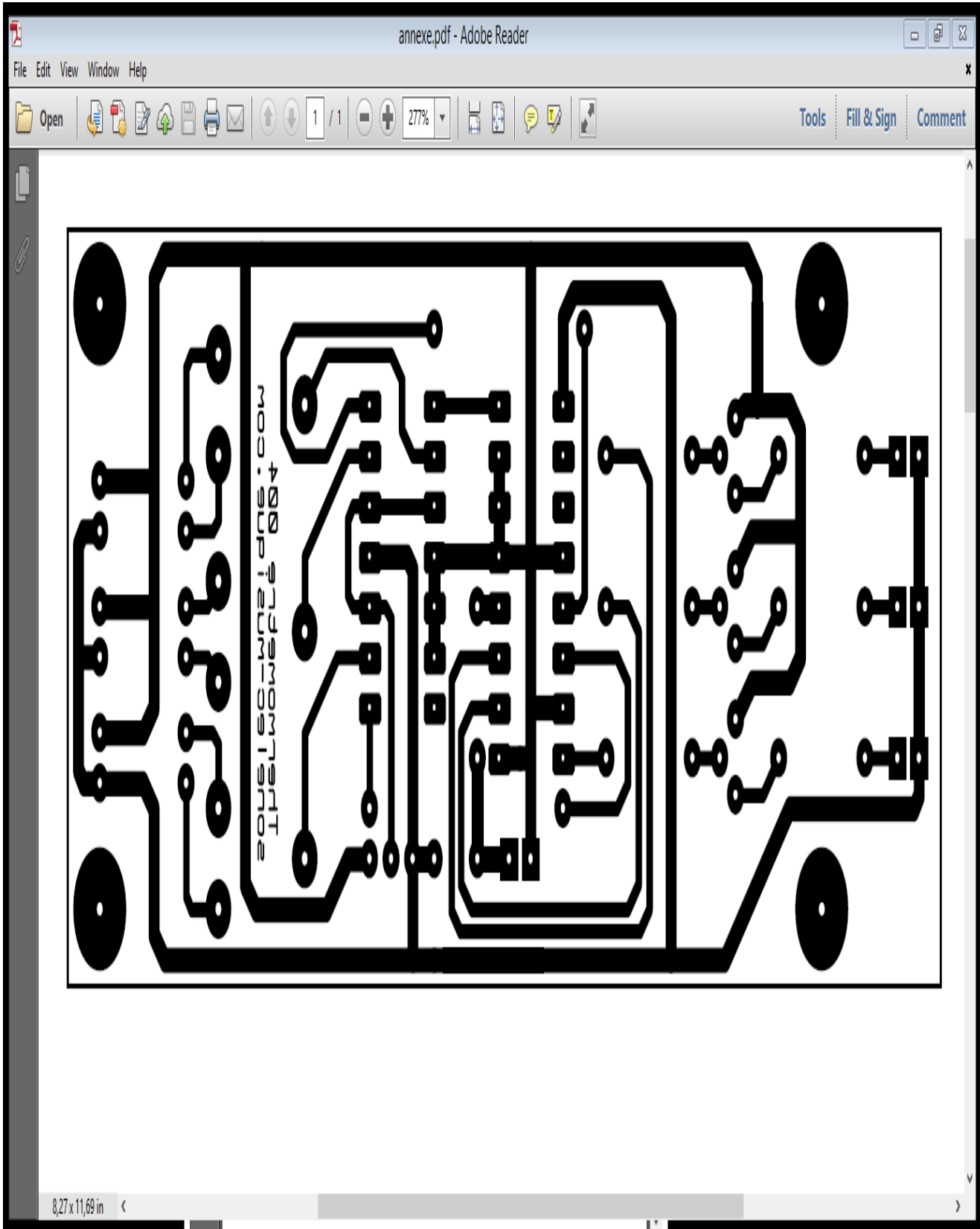
Fig. 16 - 0-to-9 keyboard encoder.

J (R-GDIP-T**)
14 LEADS SHOWN

CERAMIC DUAL IN-LINE PACKAGE



- NOTES:
- All linear dimensions are in inches (millimeters).
 - This drawing is subject to change without notice.
 - This package is hermetically sealed with a ceramic lid using glass frit.
 - Index point is provided on cap for terminal identification only on press ceramic glass frit seal only.
 - Falls within MIL STD 1835 GDIP1-T14, GDIP1-T16, GDIP1-T18 and GDIP1-T20.



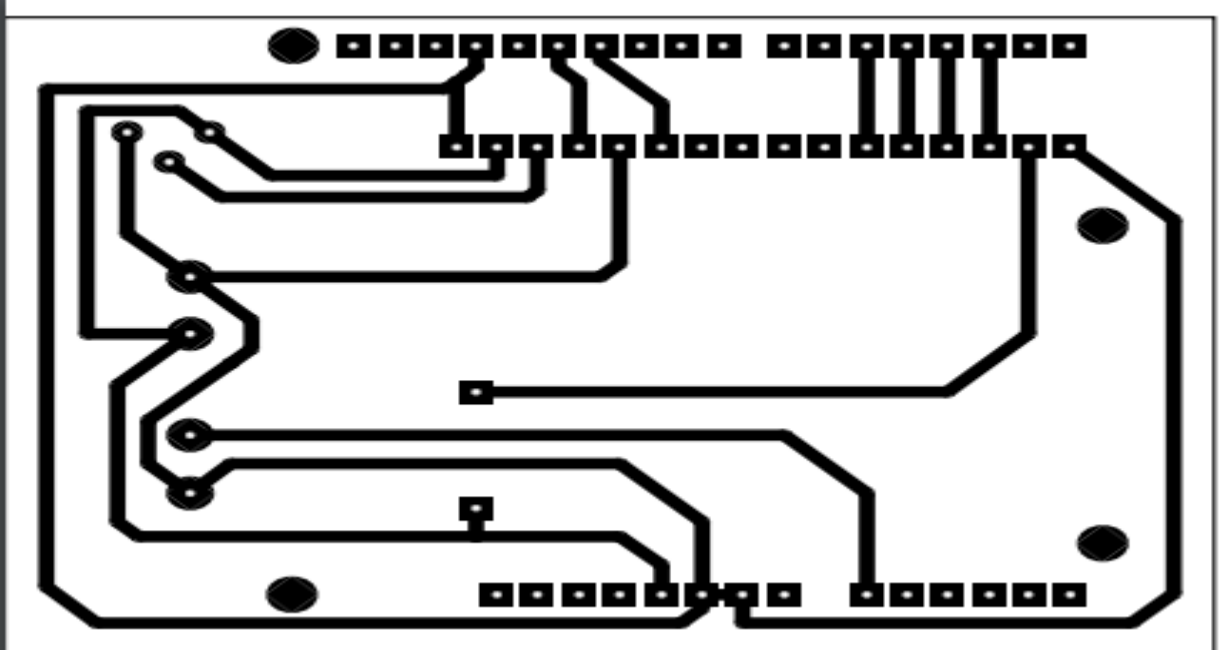
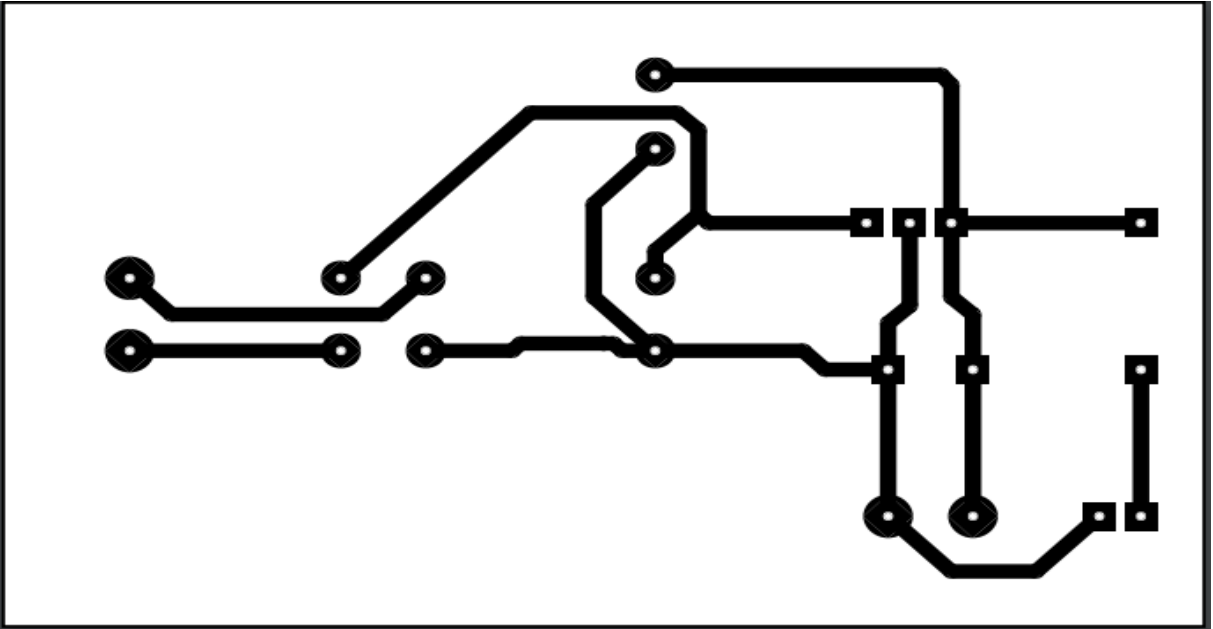
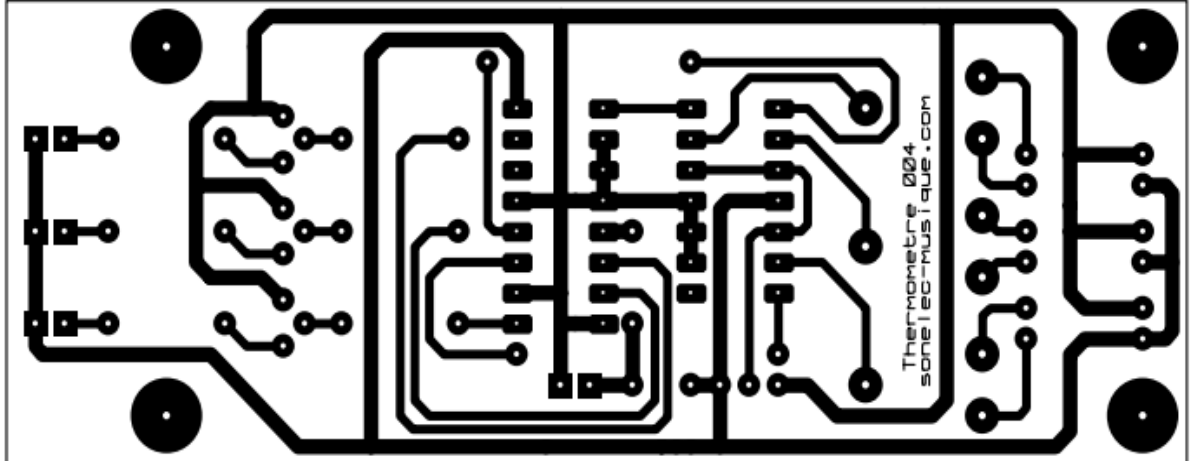
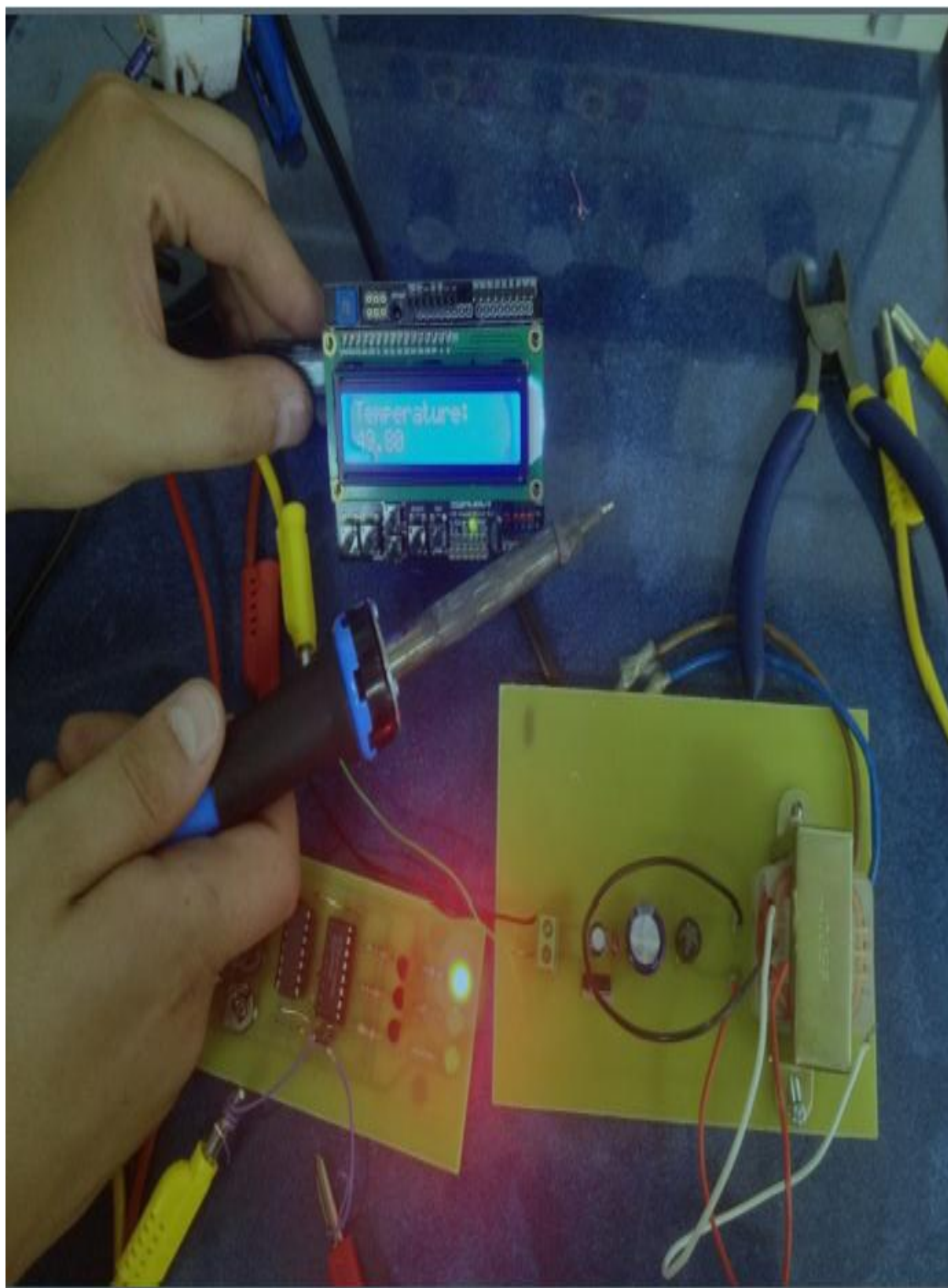


Photo du thermomètre digital réalisée de notre projet fin d'étude :



Résumé

La température est une grandeur intensive qui peut être mesuré sur les échelles différentes par un instrument de mesure que l'on appelle le thermomètre.

La mesure de la température est une opération relativement complexe : a démarche habituelle consiste à utiliser un capteur analogique qui délivre une grandeur électrique (courant-tension) proportionnelle à la température , il existe plusieurs solutions possible : thermocouple , jonction d'une diode alimenté courant constant , thermistance (mais avec un problème de linéarité), circuit spécialisé talque célèbre LM35 ou son cousin LM335 ,le capteur est plus souvent suivi d'un dispositif de mise en forme.

L'utilisation d'un Arduino nous a introduits au domaine de microcontrôleurs à leur mise en ouvre et à leur système de développement ainsi que les différents fonctionnalités et avantage qu'ils offrent.

Abstract

The temperature is an intensive magnitude which can be measured on different scales by a measuring instrument called the thermometer.

The temperature measurement is a relatively complex operation: usual approach is to use an analog sensor which outputs an electrical quantity (current-voltage) proportional to the temperature. There are several possible solutions: thermocouple junction of diode fed constant current, thermistor (but with linear problem), specialized circuit such the famous LM35 LM335, the sensor is usually followed by a shaping device.

Using an Arduino microcontroller introduced us to the field to their implementation and development system and the features and benefits they offer.

ملخص

قياس درجة الحرارة هو قياس الحجم المكثف الذي يمكن ان يقاس على مستويات مختلفة بواسطة جهاز قياس يسمى مقياس الحرارة .

قياس درجة الحرارة عملية معقدة نسبيا النهج المعتمد هو استخدام جهاز استشعار التناظرية التي مخرجات كمية الكهربائية (الجهد الحالي) يتناسب مع درجة الحرارة. وهناك العديد من الحلول الممكنة الحرارية تقاطع الصمام التناهي تغذية التيار LM.35LM335 الشهير. ويتبع اجهزة مستمر الترمس تور (مع مشكلة الخطية) .

باستخدام متحكم اروبينا قدم لنا الى الميدان نضام التنفيذ وتنميتها و المزايا والفوائد التي تقدمه.