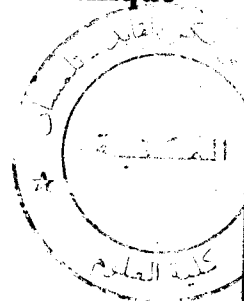
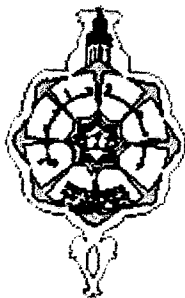


REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de Recherche scientifique
Université Abou-Bakr BELKAID- Tlemcen
Faculté des sciences
Département de physique



Projet de fin d'étude

Pour

L'obtention du Diplôme d'ingénieur en physique

Option

Caractérisation et matériau

THEME

**CONCEPTION ET REALISATION D'UN
THERMOMETRE ET D'UN REGULATEUR DE
TEMPERATURE (THERMOSTAT)**

Présenté par :

M^{elle} OUNADJELA Nadia

M^{elle} MOUFFOK Rafika

Soutenu le 27 juin 2007

Devant le jury

Présidente : M^{elle} A.Sennoudi

Examineur : Mme L.Sofi

Examineur : Mr Y.M.Mahdad

Encadreur : Mr A.Boussaid

Co-Encadreur : M^{me} Z.Zouad

Année universitaire 2006-2007

Bibliothèque sciences



87517103

2291
03 NOV 2007

Dédicaces

27 MAI 2012
103

Avec grande joie et cœur ouvert je dédie ce
modeste travail :

A l'âme de mon père,
A ma mère la plus chère de ma vie,

A ma petite sœur Fatiha,
A ma sœur Samira et son mari et leur fils
Mohammed Anniss,
A mes frères : Mohammed et Abdelkader,
A toute la famille Amrani,
A toutes mes amies,

Et toute la promotion d'Ingénieur en physique
2006-2007

Aux corps de toutes mes enseignants de
département de physique

Rafika

Dédicaces

Avec grande joie et cœur ouvert je dédie ce
modeste travail :

A ma mère la plus chère de ma vie,

A mes sœurs : Sara, Hanane et Souad

A mon chère frère : Mohammed El Amine,

A toutes mes amies,

Et toute la promotion d'Ingénieur en physique
2006-2007

Aux corps de toutes mes enseignants de
département de physique

Nadia ✓

Remerciements

*Une foi ce modeste travail est achevé ;
Nous tenons à remercier vivement toutes personne ayant
participé de loin ou de près à son élaboration et plus
particulièrement ;*

*Monsieur A. Boussaid et Madame Z. Zouad qui ont
sacrifiés une grande partie de leurs temps ainsi que leurs
conseils compétents et leurs interventions précieuses.*

*Et notre profonde gratitude à la présidente du jury
M^{lle} A. Sennoudi et aux examinateurs : M^{me} L. Sofi et
M^r Y. M. Mehdad qui nous a honoré en acceptant
d'examiner notre travail.*

*Et à monsieur F. El-Ouchedi, ingénieur d'état en
électronique.*

*Enfin nous remercions nos enseignants durant toute nos
année universitaires.*

Melles : N. Ounadjela et R. Mouffok

Sommaire

Introduction.....	1
Chapitre I : Notion de température	
I- Notion de température.....	2
I-1 Définition de la chaleur.....	2
I-2 Définition microscopique de la température.....	2
I-3 Température thermodynamique.....	2
I-4 Unité et échelles de mesure.....	3
II- Les capteurs.....	4
II-1 Définition.....	4
II-2 Sensibilité.....	6
II-3 Linéarité.....	6
II-4 Rapidité- temps de réponse.....	6
III- Capteurs de température.....	6
III-1 Thermomètres à dilatation.....	6
III-1-1 Présentation.....	6
III-1-2 Thermomètre à dilatation de liquide.....	7
III-1-3 Thermomètre à dilatation de gaz.....	8
III-1-4 Thermomètre à dilatation de solide.....	9
III-2 Thermomètres électriques.....	9
III-2-1 Présentation.....	10
III-2-2 Thermomètres à résistances et à thermistances.....	10
III-3 Thermocouples.....	14
III-3-1 Principe.....	14
III-3-2 Effet Peltier.....	14
III-3-3 Effet Thomson.....	15
III-4 Les pyromètres optiques.....	15
III-5 Capteurs intégrés (à semi-conducteur).....	16
Chapitre II : La régulation	
I-But de la régulation.....	17

I-1 définition d'un procédé.....	17
I-2 Régulation.....	17
I-3 Exemple : Régulation de température.....	18
• Chaîne fermée.....	18
• Chaîne ouverte.....	19
• Régulation à programme.....	20
II- Moyens de la régulation : Observation d'un procédé.....	21
II-1- Mesure d'une grandeur.....	21
II-2- Signaux transmis.....	22
II-3- Caractéristiques du dispositif de mesure.....	23
III-Moyens de la régulation : Commande d'un procédé.....	24
III-1- Actionneurs progressifs.....	24
III-2- Relais Tout ou Rien (T.O.R).....	25
III-3- Choix d'un organe de puissance.....	25
IV- Schéma fonctionnel.....	25
V- Caractéristiques statiques d'un système.....	27
VI- Principe de régulation (P-PI-PID).....	29
VI-1 La régulation par Tout ou Rien.....	29
VI-2- La régulation proportionnelle(P).....	31
VI-3- La régulation proportionnelle-Intégral (PI).....	33
VI-4- La régulation proportionnelle-Intégral-Dérivée (PID).....	34
Chapitre III : Partie pratique.	
III-1 Etude de circuit LM35Z.....	35
III-2 Les thermomètre.....	37
A. Premier thermomètre.....	37
B. Etalonnage de deuxième thermomètre.....	39
III-3- Le thermostat.....	42
III-4- Résultats de la régulation.....	44
Conclusion.....	
Liste des composants	
Annexes	
Bibliographie	

Introduction générale

Les techniques de l'automatique ne sont pas seulement un moyen de commander des processus mais aussi un moyen de réduire les pertes de production, d'augmenter la qualité et la quantité des produits, d'augmenter la disponibilité des unités et de diminuer les coûts marginaux de production.

L'automatisme et la régulation des équipements thermiques tels que les fours, étuves, chaudière... s'inscrit bien dans ce cadre.

La régulation des procédés thermiques regroupe l'ensemble des moyens matériels et techniques mis en œuvre pour maintenir une grandeur physique à régler, égale à une valeur désirée, appelée consigne. Lorsque des perturbations ou des changements de consignes se produisent, la régulation provoque une action correctrice sur une grandeur physique du procédé, appelée grandeur réglante (commande).

Le but de notre projet consiste en la régulation d'une étuve destinée aux laboratoires de chimie à l'aide d'un circuit électronique simple permettant de maintenir la température entre l'ambiante et environ 100°C.

Pour cela notre mémoire est composé :

- d'un premier chapitre qui traite la notion de température tout en présentant les différents capteurs de température et thermomètres.
- d'un deuxième chapitre passant en revue quelques notions de bases sur la régulation et en particulier celle de température.
- d'un troisième où nous présentons nos circuits proposés concernant la réalisation de deux thermomètres : un à affichage par LED et l'autre à affichage LCD et enfin le circuit de commande permettant la régulation de notre étuve. Les résultats obtenus sont brièvement discutés en dernier.

CHAPITRE I

NOTION DE TEMPERATURE

I-NOTION DE TEMPERATURE :

I-1-Définition de chaleur :

Dans le langage courant, les mots **chaleur** et **température** ont souvent un sens équivalent. Les progrès et les succès de la **calorimétrie** imposent cette théorie jusqu'au **XIX^e siècle**. Cette conception est celle de **Carnot** : un moteur thermique ne peut fonctionner que si la chaleur circule d'un corps dont la température est plus élevée vers un corps dont la température est plus froide.

I-2-Définition microscopique de température :

La température mesure l'agitation microscopique des molécules et des atomes (vibrations, mouvement désordonnés), contrairement à la **vitesse** qui mesure les mouvements d'ensembles (**vent, courant, déplacement**).

De même, l'**énergie cinétique** peut être séparée en deux :

L'énergie cinétique macroscopique, qui correspond au mouvement d'ensemble du corps.

L'énergie cinétique microscopique, qui correspond aux mouvements désordonnés, que l'on appelle aussi **énergie thermique**.

I-3-Température thermodynamique :

Tous corps en contact ayant des températures différentes échangent de l'énergie de manière à atteindre un état d'équilibre pour lequel les températures finales sont identiques : C'est l'équilibre thermique. Il suffit donc de connaître et de savoir quantifier parfaitement l'état thermique d'une classe de corps physique particulière pour étendre la définition de température à tous les objets physiques. C'est ce qui est fait avec la notion de **gaz parfait** : pour un gaz parfait, la température (dans ce cas appelée *cinétique*) est proportionnelle à l'**énergie cinétique moyenne** des particules ou encore à l'**énergie interne** du gaz.

On peut alors définir la température thermodynamique d'un corps comme étant celle qu'il acquiert lorsqu'il est en contact et en équilibre thermique avec un gaz parfait. C'est le principe de thermométrie.

De manière plus mathématique et formelle, la température thermodynamique est reliée à la notion d'**entropie**. On peut ainsi définir pour un **système thermodynamique** soumis uniquement aux forces de pression.

$$T = \left(\frac{\partial U}{\partial S} \right)_v \quad (I.1)$$

I-4 Unité et échelles de mesure :

L'unité légale de température dans le système international est le **kelvin** de symbole K (noter l'absence du symbole ° car ce n'est pas une échelle de mesure). Il existe d'autres systèmes de mesures antérieurs et toujours utilisés : les échelles Celsius centigrade, Fahrenheit et Rankine.

- Le Kelvin

Il est défini à partir du point triple de l'eau : un kelvin est égal à 1/273,16 fois la température du point triple de l'eau³. Le **zéro absolu**, correspondrait à la limite à une absence totale d'agitation microscopique et à une température de -273,15 °C ; mais on ne peut jamais l'atteindre (Penser que l'entité physique est plutôt 1/T, et on ne peut jamais atteindre l'infini). Cette unité permet de définir une échelle absolue des températures.

- Le Celsius

C'est le kelvin auquel on retire 273,15 K. Son unité est le °C. Elle est une simple translation de l'échelle absolue (I.2). Le point triple de l'eau a pour valeur 0,01°C.

- les échelles centigrades

L'échelle de mesure est telle que 0 et 100 sont fixés. Elle est appelée **centigrade** car les deux points de référence sont distants de 100°. Entre les deux, c'est la dilatation du mercure qui définit l'échelle.

Par exemple dans l'échelle centigrade de Celsius, le zéro correspond à la température de la glace fondante et 100 degrés centigrades correspond à la température d'ébullition de l'eau sous une pression de 1 atmosphère.

- L'échelle Fahrenheit

Son symbole est °F. Elle attribue une plage de 180°F entre la température de solidification de l'eau et sa température d'ébullition. On la déduit de l'échelle Celsius par une fonction affine. Elle fixe le point de solidification de l'eau à 32 °F et le point d'ébullition à 212 °F.

Celsius ↔ Kelvin ↔ Fahrenheit

$$\frac{T_{\text{Celsius}} - 0}{100} = \frac{T_{\text{Kelvin}} - 273,15}{100} = \frac{T_{\text{Fahrenheit}} - 32}{180} \quad (I.2)$$

II-LES CAPTEURS :**II-1-Définition :**

La grandeur physique objet de la mesure : déplacement, température, pression, etc.... est désignée comme la mesurande et représentée par M . Pour détecter ces grandeurs, il faut utiliser des dispositifs appelés « capteur » qui, soumis à l'action d'une mesurande « non électrique » présente une caractéristique de nature électrique (charge, tension, courant ou impédance) désignée par « S » et qui est fonction de la mesurande : $S=F(M)$.

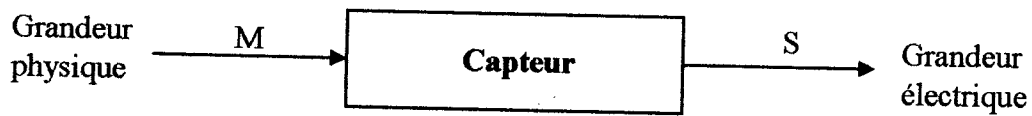


Figure I-1 : Schéma synoptique d'un capteur

Remarque : la mesure de S doit permettre de connaître la valeur M .

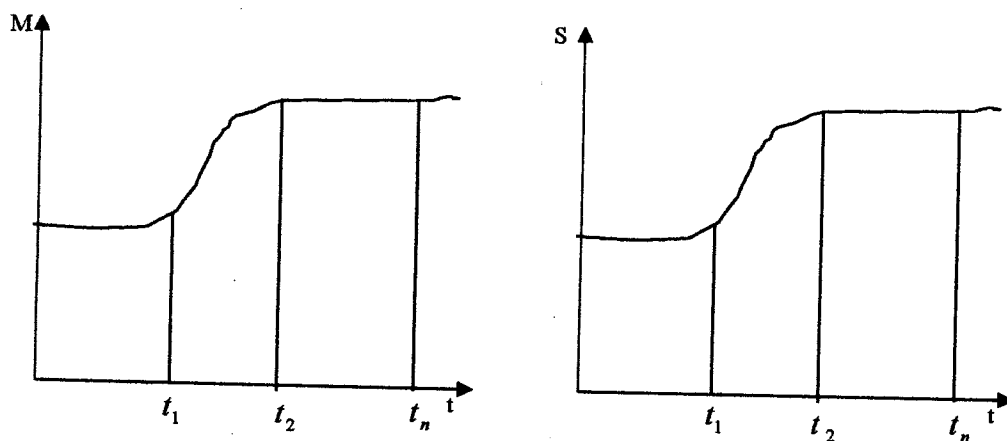


Figure I-2 : Exemple d'évolution d'une mesurande 'M' et de la réponse 'S' correspondante du capteur.

-L'allure des caractéristiques dépend dans sa forme théorique des lois physiques qui régissent le fonctionnement du capteur. Sur la figure (I.3) on peut distinguer un exemple de

caractéristiques:

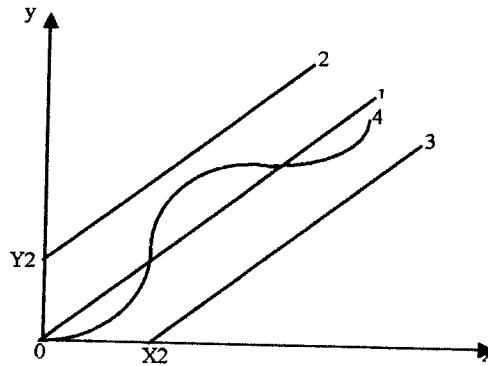


Figure I-3 : Exemple de quelques caractéristiques.

Avec :

- 1: caractéristique linéaire.
- 2: caractéristique linéaire à valeur initial non nulle.
- 3: caractéristique linéaire dont la sortie possède un retard.
- 4: caractéristique non linéaire.

Les capteurs sont tellement nombreux et diversifiés que généralement on les classe selon leur constitution et en fonction du signal de sortie ; ceci permet d'obtenir deux familles distinctes :

- Les capteurs actifs ;
- Les capteurs passifs ;

- Capteurs actifs :

Fonctionnant en générateur un capteur actif est généralement fondé dans son principe sur un effet physique qui assure la conversion en énergie électrique de la forme d'énergie propre au mesurande (énergie thermique, mécanique ou de rayonnement).

La sortie de ce capteur est une tension, un courant ou une charge.

- Capteurs passifs :

Il s'agit d'impédance dont l'un des paramètres déterminants est sensible au mesurande.

Dans l'expression littérale d'une impédance sont présents les termes liés :

- D'une part à sa géométrie et à ses dimensions
- D'autre part aux propriétés électroniques des matériaux les : résistivité « ρ », perméabilité magnétique « μ », constante diélectrique...

Il 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.

II-2-Sensibilité :

C'est une spécification déterminante dans le choix d'un capteur. De façon générale la sensibilité « ε » est défini. Autour d'une valeur m_1 constante du mesurande, par le rapport de la variation ΔS de la grandeur de sortie à la variation Δm du mesurande qui lui naissance :

$$\varepsilon = \left(\frac{\Delta S}{\Delta m} \right)_{m=m_1} \quad (I.3)$$

II-3-Linéarité :

Un capteur est dit linéaire dans une plage déterminée de mesurande si sa sensibilité y est indépendante de la valeur de mesurande. L'intérêt de la linéarité est tel que, lorsque le capteur n'est pas linéaire on se trouve amené à inclure dans la chaîne de mesure des dispositifs de correction- dits de linéarisation- dont le rôle est de rendre le signal proportionnel au variation du mesurande.

II-4-Rapidité-temps de réponse :

La rapidité est la spécification d'un capteur qui permet d'apprécier de quelle façon la grandeur de sortie suit dans le temps les variations du mesurande. Un capteur est d'autant plus rapide que son temps de réponse est plus court.

III-CAPTEURS DE TEMPERATURE :

III-1 Thermomètres à dilatation :

III-1-1 Présentation :

Le volume d'un corps augmente en général, lorsque sa température s'élève (sans qu'il y ait de changement d'état physique). La dilatation étant réversible, elle fournit un mode pratique de repérage des températures. Ce phénomène se retrouve de façon analogue, mais

avec une ampleur différente pour les liquides, les gaz et les solides. D'où les trois types de thermomètres à dilatation.

III-1-2 Thermomètres à dilatation de liquide :

a) Description

Il est constitué d'un réservoir surmonté d'un capillaire de section faible et régulière (ordre de grandeur : $D = 0,2 \text{ mm}$) se terminant par une ampoule de sécurité (utile lors d'un dépassement de la température admissible). Il est réalisé en verre. Sous l'effet des variations de température, le liquide se dilate plus ou moins. Son niveau est repéré à l'aide d'une échelle thermométrique gravée sur l'enveloppe.

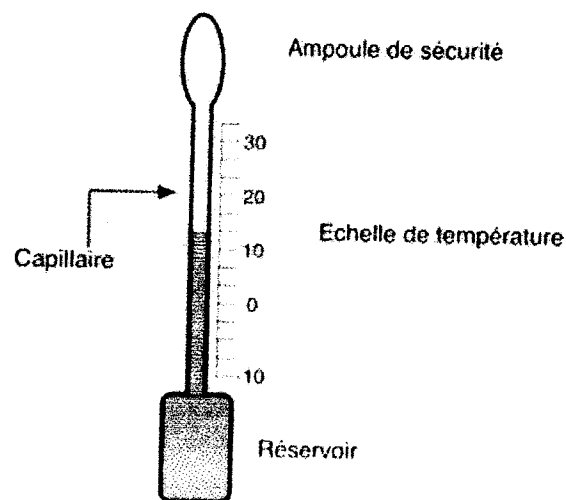


Figure I-4 : Thermomètre à dilatation de liquide

b) Loi de variation

La loi de variation du volume du liquide en fonction de la température est :

$$V = V_0(1 + \beta \times \theta) \quad (I.4)$$

avec :

V_0 : volume du liquide à $0 \text{ }^\circ\text{C}$;

V : volume de liquide à $\theta \text{ }^\circ\text{C}$;

β : coefficient de dilatation volumique du liquide en $^{\circ}\text{C}^{-1}$.

Cette équation nous montre que la sensibilité du thermomètre à dilatation de liquide est proportionnelle au volume V_0 (fonction du volume du réservoir), au coefficient de dilatation du liquide (donc au type de liquide choisi) et inversement proportionnel à la section S du capillaire car :

$$\Delta h = \frac{\Delta V}{S} \quad (\text{I.5})$$

III-1-3 Thermomètres à dilatation de gaz :

a. Rappel

L'équation d'un gaz parfait est :

$$P \times V = n \times R \times T \quad (\text{I.6})$$

avec :

n : Nombre de moles ;

$R = 8,31 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$;

T : Température en K ;

P : Pression en Pascal.

On voit donc que, si l'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 :

$$P = \frac{R \times T}{V} ; \text{ avec le rapport } \frac{R}{V} \text{ constant, et } n=1 \text{ mole.}$$

b. Principe

Sous une forme schématisée, un thermomètre à gaz est composé d'une sonde (A), formant une enveloppe dans laquelle est enfermé le gaz thermométrique (figure II-2). Cette sonde est

reliée par un tube capillaire de raccordement à l'extrémité (B) d'un tube de Bourdon, appelée spiral de mesure. Cette extrémité est fixe. La longueur du tube de raccordement ne doit pas excéder 100 mètres. Sous l'effet de la température du milieu dans lequel la sonde est placée, la pression du gaz va varier, ce qui modifiera l'équilibre de l'extrémité libre du tube de Bourdon. Cette variation de pression se traduira par un mouvement de rotation de l'index indicateur qui se déplacera devant un cadran portant des graduations thermométriques.

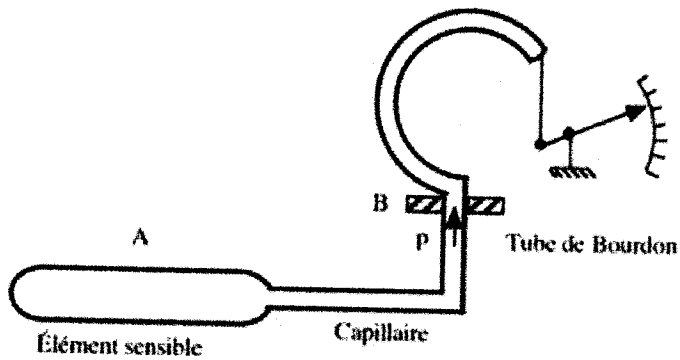


Figure I-5: Thermomètre à gaz

hélium	-267,8°C
hydrogène	-239,9°C
azote	-147,1 °C
gaz carbonique	-31,1°C

Tableau I-1: Gaz employés dans les thermomètre à gaz

III-1-4 Thermomètres à dilatation de solide :

Lorsqu'une tige métallique est portée à la température θ sa longueur varie. La relation entre sa longueur L et θ est :

$$L = L_0(1 + \alpha \times \theta) \quad (I.7)$$

avec :

L : la longueur de la tige à la température θ ;

L_0 : la longueur de la tige à 0 °C ;

θ : la température en °C ;

α : le coefficient de dilatation linéaire du métal.

La dilatation linéaire du métal peut servir de grandeur thermométrique.

III-2 Thermomètres électriques :

III-2-1 Présentation :

Les capteurs qui précèdent sont à lecture directe et sont peu utilisés dans les régulations industrielles. De plus, à l'exception du thermomètre à gaz l'indication de température est proche du lieu de mesure.

Les capteurs électriques qui suivent auront l'avantage d'une plus grande souplesse d'emploi (information transmissible, enregistrement) tout en gardant une précision suffisante pour les emplois industriels et beaucoup d'emplois de laboratoire.

III-2-2 Thermomètres à résistance et à thermistance :

Le fonctionnement des thermomètres à résistance et à thermistances est basé sur le même phénomène physique ; l'influence de la température sur la résistance électrique d'un conducteur. La mesure d'une température est donc ramenée à la mesure d'une résistance. Comme la caractéristique résistance/température est de nature différente pour un métal et un agglomérat d'oxydes métalliques, deux cas sont distingués. On parlera de thermomètre à résistance d'une part et de thermistance d'autre part.

a) Thermomètres à résistance :

Le conducteur est un élément métallique. On peut établir une relation bijective entre la résistance R et la température θ et ainsi mesurer θ en mesurant R .

Cette relation est de la forme :

$$R = R_0(1 + a \times \theta + b \times \theta^2 + c \times \theta^3) \quad (I.8)$$

Avec :

θ : la température en °C

R_0 : la résistance à 0 °C.

a, b et c : des coefficients positifs, spécifiques au métal

b) Thermomètres à thermistance :

Une **thermistance** est un **capteur** de température passif. Elle est constituée d'un matériau semi-conducteur. Sa résistance varie en fonction de la température.

On distingue deux types de thermistances : les CTN et les CTP.

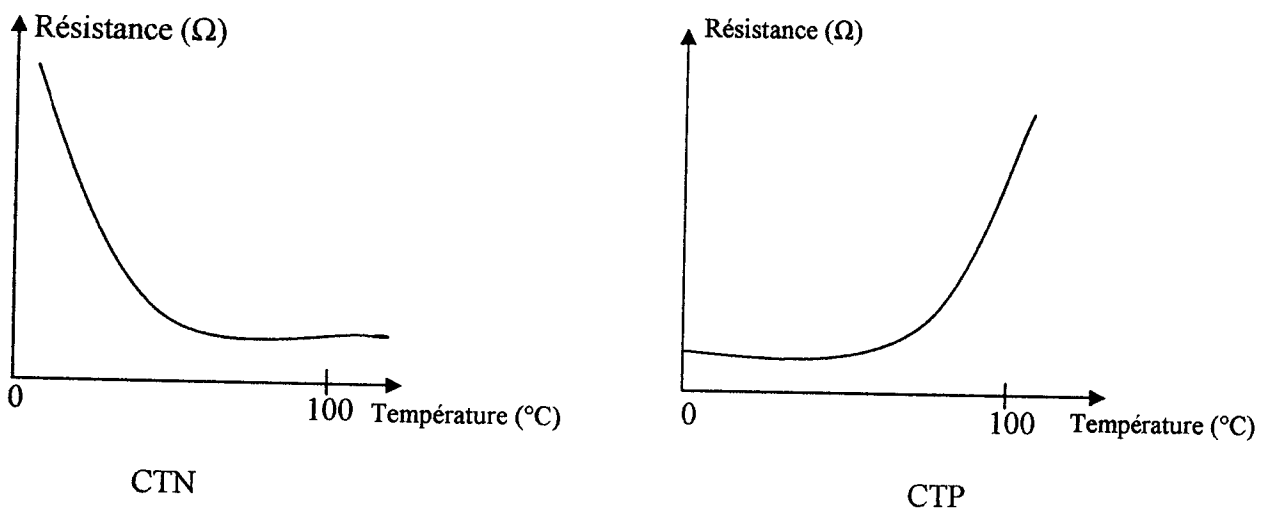


Figure I.6 : Caractéristique typique d'une CTN et d'une CTP.

- CTN

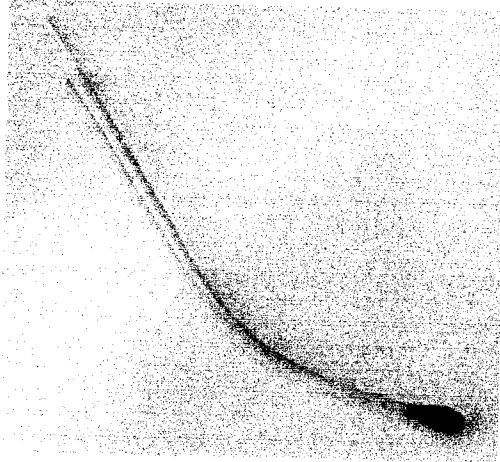


Figure I.7 : CTN

Les CTN (Coefficient de Température Négatif) sont des thermistances dont la résistance diminue de façon uniforme avec la température.

Lorsque l'effet Joule (échauffement dû au passage du courant) est négligeable, on constate que la résistance de la CTN varie avec la température selon la loi :

$$R(T) = R(T_0) e^{\alpha \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right)} \quad (I.9)$$

Où :

- $R(T)$ est la valeur de la résistance du capteur à la température T ;
- $R(T_0)$ est la valeur de la résistance du capteur à la température de référence T_0 ;
- les températures T et T_0 sont exprimées en K (**Kelvin**) ;
- α et T_0 sont des constantes caractéristiques du composant.

Les CTN sont fabriquées à base d'oxydes de métaux de transition (manganèse, cobalt, cuivre et nickel). Ces oxydes sont semi-conducteurs.

Les CTN peuvent être utilisées dans une large plage de températures, de -200°C à $+1000^{\circ}\text{C}$, et elles sont disponibles en différentes versions : perles de verre, disques, barreaux, pastilles, rondelles, puces etc. Les résistances nominales vont de quelques ohms à une centaine d'ohms. Le temps de réponse dépend du volume de matériau utilisé.

Les CTN sont utilisées pour les mesures et le contrôle de la température, la suppression d'impulsions transitoires, la mesure de flux de liquides.

- **CTP**

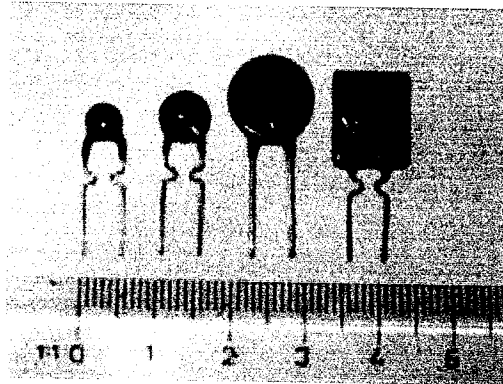


Figure I.8 : résistance CTP

Les CTP (Coefficient de Température Positif) sont des thermistances dont la résistance augmente fortement avec la température dans une plage de température limitée.

Les CTP sont fabriquées à base de titanate de baryum. Elles sont comme les CTN, disponibles en différentes variantes et valeurs.

Les CTP peuvent être utilisées : comme détecteur de température, pour protéger des composants (moteurs, transformateurs) contre une élévation excessive de la température; comme protection contre des surintensités... etc.

Les Thermistances à coefficient de température négatif (CTN) sont des résistances dont la résistance à dissipation nulle (sans passage de courant), diminue lorsque la température augmente. La température varie en fonction:

- du passage d'un courant dans l'élément;
- de la variation de la température ambiante;

- de la combinaison de ces deux moyens.

III-3 Thermocouples :

III-3-1 Principe :

Les phénomènes thermoélectriques dans les chaînes de conducteurs métalliques ou semi-conducteurs décrivent les conversions d'énergie qui s'opèrent en leur sein, effet Joule mis à part, entre énergie d'agitation thermique et énergie électrique des charges en mouvement.

III-3-2 Effet Peltier :

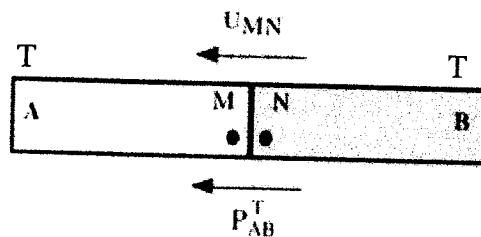


Figure I-9 : effet Peltier.

-A la jonction de deux conducteurs différents mais à la même température, s'établit une différence de potentiel qui ne dépend que de la nature des conducteurs et de leur température T (effet Peltier).

La différence de potentielle (d.d.p) entre les deux points A et B est donné par la relation :

$$\boxed{V_M - V_N = P_{A/B}^T} \quad (I.10)$$

La loi de Volta pour un circuit isotherme, constitué de conducteurs différents, indique que la somme des force électromotrice (f.e.m) de Peltier est nulle. On a donc :

$$\boxed{P_{AB}^T + P_{BC}^T = P_{AC}^T} \quad (I.11)$$

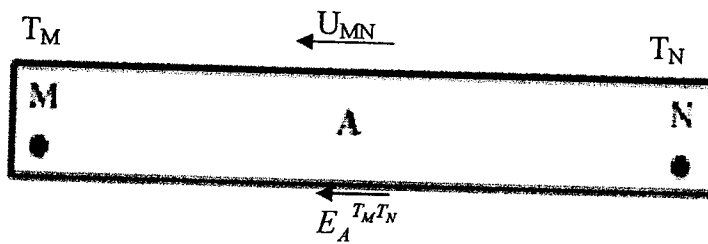
III-3-3 Effet Thomson :

Figure I-10 : effet Thomson.

Entre deux points M et N à température différente, à l'intérieur d'un conducteur homogène A s'établit une force électromotrice qui ne dépend que de la nature du conducteur et des températures au points M et N (Effet Thomson) :

$$E_A^{T_M T_N} = \int_{T_N}^{T_M} h_A dt \quad (I.12)$$

$E_A^{T_M T_N}$: est la force électromotrice de Thomson ; h_A : coefficient de Thomson du conducteur A est une fonction de la température.

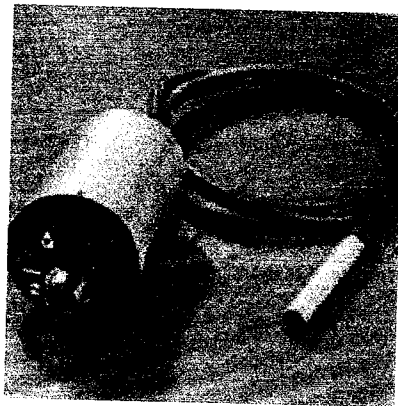
III-4 Les pyromètres optiques :

Figure I-9 : Pyromètre optique.

La pyrométrie optique est une méthode de mesure de la température basée sur la relation entre la température d'un corps et le rayonnement optique (infrarouge ou visible) que ce corps émet. Les capteurs utilisés sont donc des capteurs optiques, photoélectriques ou thermiques.

L'intérêt de la pyrométrie optique est de permettre la détermination d'une température sans contact avec l'objet ; c'est donc une méthode appropriée quand les conditions expérimentales n'autorisent pas l'utilisation de capteurs thermométriques classiques :

- Température très élevée (supérieure à 2000 °C) ;
- Mesures à grande distance ;
- Environnement très agressif (industrie chimique) ;
- Corps mauvais conducteurs de la chaleur (plastiques, verres, bois,...) ;
- Pièce en mouvement ;
- Localisation des points chauds.

III-5 Capteurs intégrés (à semi conducteur) :

III-5-1 description :

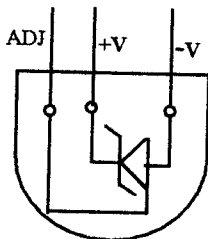
Il existe actuellement des capteurs de température de précision en circuit intégré (circuit à trois pattes comme pour les transistors) qui sont facilement étalonnés, ils fonctionnent comme deux diodes Zener et la chute de tension est directement proportionnelle à la température absolue (10mV/K par exemple).

Le circuit à une impédance dynamique inférieure à 1 Ω et fonctionne dans une gamme de courant de 5mA sans modifier leurs caractéristiques.

Etalonnée à +25°C, les LM135, LM235 et LM335 ont une erreur typique moins de 1°C sur un intervalle de température de 100°C. Contrairement à d'autres capteurs les LM135, LM235 et LM335 ont une sortie linéaire.

Le capteur choisit dans notre travail présent est le LM35Z.

III-5-2 Symbole :



FigureI-10 : Symbole d'un capteur intégré.

CHAPITRE II
LA REGULATION

I- BUT DE LA REGULATION :

I-1-Définition d'un procédé :

Pour l'ingénieur de la régulation, un procédé de production au sens large est un ensemble complexe d'appareillage fonctionnant dans un but précis : l'obtention de produits ou de services. Son fonctionnement dépend d'un certain nombre de paramètres qui, avec des poids variables, influent sur le but visé. Le mot «**procédé**» devient, en régulation, un terme générique utilisé pour tout dispositif.

L'objectif global d'un procédé est généralement caractérisé au moyen d'une ou plusieurs grandeurs mesurables dont la maîtrise permet d'atteindre le but recherché.

Avant de vouloir réaliser la régulation d'un procédé, il faut donc commencer par faire l'inventaire de toutes les grandeurs à maîtriser. Il faut ensuite rechercher toutes les grandeurs incidentes c'est-à-dire susceptibles de modifier les grandeurs à maîtriser (figure II-1)

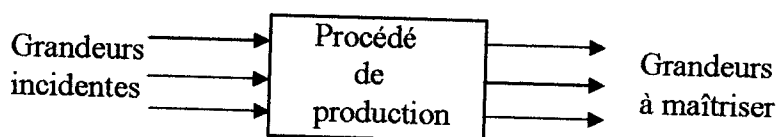


Figure II-1 :Schéma synoptique d'un procédé.

I-2-Régulation :

La régulation a pour ambition de garantir un fonctionnement du procédé conforme à l'objectif final, en imposant des ajustements, suivant des lois d'évolution choisies par le concepteur, lorsqu'un écart par rapport à cet objectif est décelé.

Pour atteindre ce résultat, que la régulation soit manuelle, c'est-à-dire réalisée par un opérateur humain, ou qu'elle soit automatique, c'est-à-dire réalisée par un dispositif autonome, trois étapes essentielles peuvent être distinguées :

- L'observation des grandeurs à maîtriser ;
- La détection éventuelle d'un écart par rapport à l'objectif (étape de réflexion) ;
- L'action sur une ou plusieurs grandeurs incidentes.

La suite de ces trois étapes définit une chaîne dite de régulation.

REMARQUE : du fait de l'évolution des conditions économiques d'exploitation, les spécifications des produits sont de plus en plus précises et le contrôle et la régulation interviennent aussi bien en cours de fabrication qu'à son terme.

Au-delà des problèmes de productivité, la régulation doit assurer :

- la sécurité des personnes et du matériel;
- la qualité de produit ou de service.

I-3-Exemple : Régulation de température :

Le confort physiologique dans une étuve nécessite notamment un contrôle de sa température ; celle-ci doit rester sensiblement constante et ne dépasse pas la valeur des normes vigueur.

- **Chaîne fermée:** Le but final du procédé est de maintenir la température d'une étuve à 50°C . ce résultat doit être obtenu par action sur un relais (figure II-2). Grâce à ce dernier, on modifie l'apport calorifique.

La régulation peut être décrite en distinguant les trois phases suivantes :

- Observation :** la température θ de l'étuve est mesurée par le dispositif d'observation ;
- Détection de l'écart éventuel et réflexion sur les lois d'évolution à mettre en œuvre ;
- Action :** ouverture du relais modifiant θ_a (température intérieur de l'étuve) et donc ultérieurement θ .

La chaîne ainsi constituée dite fermée car toute action sur le relais entraîne une variation de la grandeur observée θ .

Réciproquement, toute détection d'une variation de θ (due à des grandeurs incidentes) entraîne une action sur le relais.

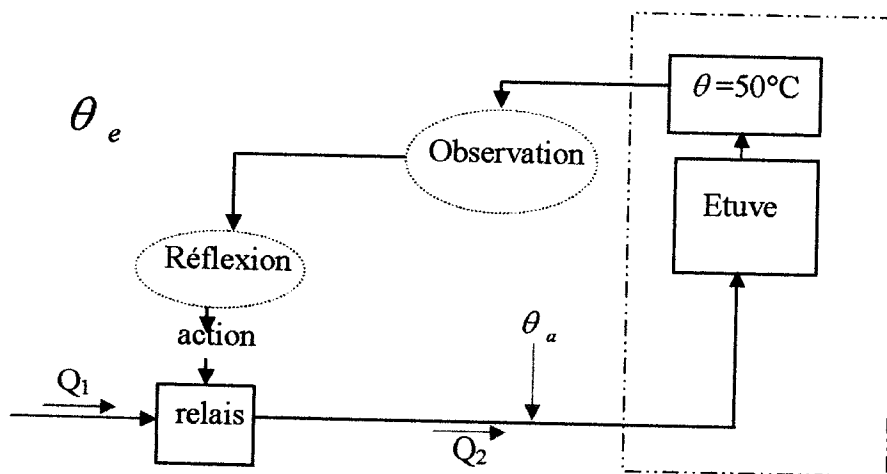


Figure II-2 : Chaîne fermée.

Avec :

Q_1 : débit calorifique ;

Q_2 : débit calorifique à température variable θ_a

θ_e : température extérieure.

• **Chaîne ouverte** : Le but final est le même que dans l'exemple précédent (figure II-3). Connaissant les caractéristiques de l'étuve (volume, coefficient d'isolation, situation) il est possible d'estimer le débit calorifique (énergie calorifique à fournir chaque seconde) nécessaire au maintien de la température à 50°C . En effet, cet apport est essentiellement fonction de la température extérieure θ_e .

Dans ce cas, à une température θ_e , on fera correspondre une température θ_a du fluide.

Les trois phases de la régulation deviennent les suivantes :

- Observation** : la température extérieure θ_e est mesurée ;
- Prise en compte (manuelle ou automatique) de la loi liant θ_e au débit calorifique ;
- Action** : ouverture du relais modifiant θ_a et ultérieurement θ .

La chaîne ainsi constituée est dite **ouverte** car l'action ne modifie pas la grandeur observée. Dans ces conditions, l'objectif final n'est pas garanti.

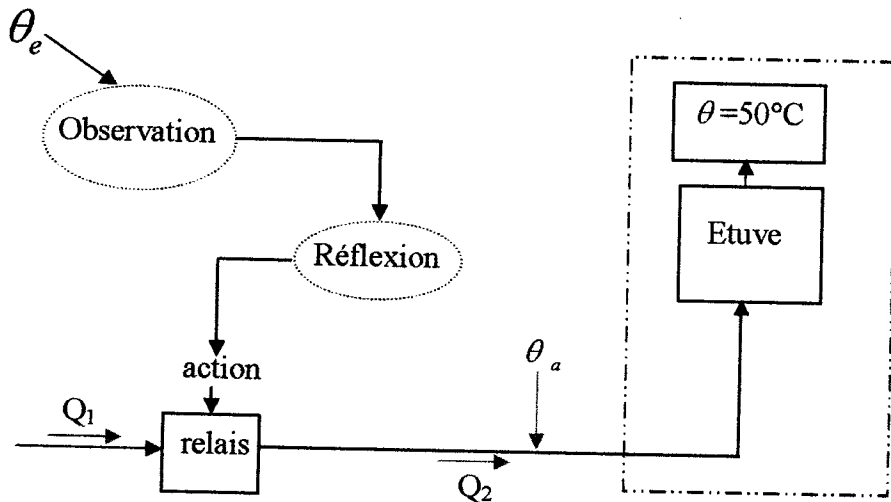


Figure II-3 : Chaîne ouverte.

II- MOYENS DE LA REGULATION: observation d'un procédé

Dans un procédé industriel, les grandeurs physiques qu'il est utile de contrôler ne sont généralement pas directement observables (niveau dans un cuve fermée, température et pression d'un fluide dans une canalisation...). Afin d'obtenir des informations fiables et quantifiables pour ce contrôle, il est indispensable de disposer de grandeurs physiques auxiliaires, dont les variations seront en rapport avec celles de ces grandeurs à maîtriser. Cela impose l'utilisation d'un appareil de mesure spécifique de chaque grandeur à observer.

II-1-Mesure d'une grandeur :

En régulation, la mesure d'une grandeur est souvent ramenée à l'obtention d'une grandeur image, qui reproduit très fidèlement les variations de la grandeur précédente dite primaire. La grandeur image, ou secondaire, doit être facilement exploitable, afin de permettre d'élaborer un signal représentatif de la valeur de la grandeur mesurée. Ce signal devra être d'une nature telle qu'il puisse éventuellement être transmis sur une grande distance afin d'être utilisé par un dispositif de régulation placé dans une salle de contrôle.

Les principales grandeurs à mesurer sont :

- la pression, le débit, la température pour un fluide en mouvement dans une canalisation ;
- le niveau, la masse volumique, le PH pour un fluide stocké dans un réacteur ;
- la vitesse, l'accélération, le déplacement pour des organes mécaniques en mouvements.

La mesure pourra être local. L'appareil de mesure sera alors essentiellement constitué :

- d'un capteur**, élément sensible à la grandeur que l'on veut mesurer ;
- d'un indicateur**, dispositif commandé par le capteur et qui permet la visualisation de la mesure au point où elle est opérée.

Communément, l'ensemble est appelé **indicateur**.

Exemple d'indicateurs: Thermomètre pour une mesure de température (figureII-5).

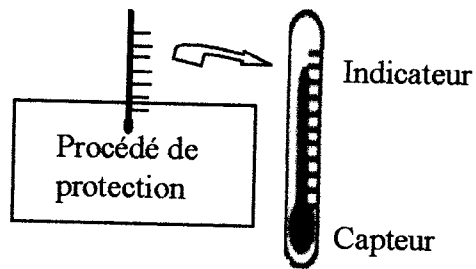


Figure II-5 :Exemple d'indicateur : thermomètre.

◆ La mesure pourra être transmise à distance. Dans ce cas, l'appareil de mesure doit souvent servir de convertisseur de signal afin qu'il délivre une information qui puisse être véhiculée à distance. Il est alors essentiellement constitué :

-d'un capteur ;

-d'un transmetteur, dispositif permettant d'élaborer un signal image de la mesure.

Communément, l'ensemble est appelé **transmetteur**.

Exemples de capteurs de température :

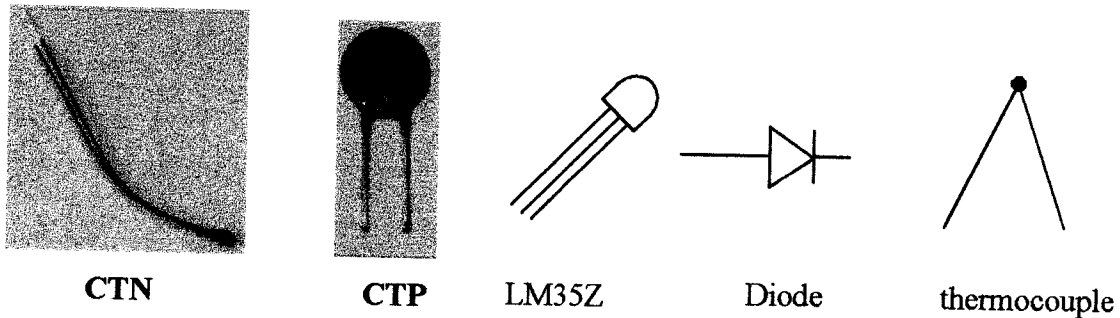


Figure II-6 : Exemple de capteur de température.

II-2-Signaux transmis :

Industriellement la nature d'un signal est déterminée par son aptitude à être transmis sur de longues distances, en subissant le moins de distorsion et en conservant un niveau d'énergie compatible avec un rapport signal/bruit important.

On distingue les signaux *pneumatique* (l'information est véhiculée par la pression de l'air dans une canalisation) et les signaux électriques (l'information est véhiculée par une tension ou une intensité de courant). Ces derniers, plus commodes, voient leur utilisation se généraliser, mais ils ne peuvent pas toujours être employés pour des raisons de sécurité, notamment en atmosphère déflagrante.

Les niveaux extrêmes des signaux transmis sont normalisés. Ils correspondent aux valeurs extrêmes de la grandeur à mesure qui définissent l'échelle du transmetteur et qui caractérisent chaque transmetteur. Pour rationaliser l'étude de tous les dispositifs de mesure, on raisonne en pourcentage de l'échelle du transmetteur.

Par exemple pour un transmetteur de température entre 500°C et 1000°C correspondent respectivement à 0 et 100 de l'échelle du transmetteur.

Dans la plus part des cas, on cherche à obtenir une relation linéaire entre la grandeur primaire à mesurer et le signal de mesure (sensibilité constante figure II-7).

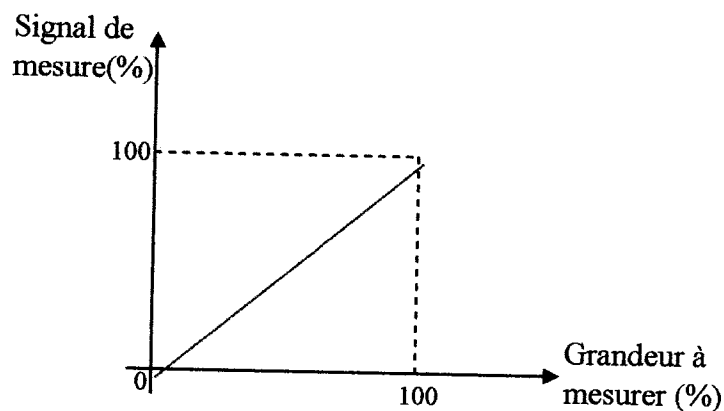


Figure II-7 : Sensibilité.

II-3- Caractéristiques du dispositif de mesure :

En fonction des performances attendues, ce dispositif doit être choisi avec soin. Parmi ces caractéristiques principales citons :

- la précision et la linéarité... (mesurer une température de four de 900°C à 1°C près est difficile).
- Le domaine d'utilisation.
- Les conditions d'emplois (un semi-conducteur).

REMARQUE : dans certains cas, pour des grandeurs complexes, il n'existe pas d'instrument de mesure. A partir de mesures plus élémentaires il faut alors élaborer une « image » de cette grandeur par calcul.

III- MOYENS DE LA REGULATION: commande d'un procédé

Lorsque les grandeurs à maîtriser s'écartent des valeurs désirées, il est nécessaire d'agir sur certaines grandeurs incidentes convenablement choisies ; on utilise alors des appareils appelés **actionneurs**.

Pour modifier un débit calorique on utilise des relais ou thyristors pour commande une alimentation de puissance.

III-1 Actionneurs progressifs :

La grande souplesse apportée par les grandeurs électriques les font de plus en plus choisir comme grandeurs incidentes à commander. On utilise alors des Unités de puissances dites mixtes (ou U.P.M.) car elles peuvent être commandées aussi bien par un signal continu (4-20mA par exemple) que par un signal binaire périodique modulé en durée (souvent 0-10V) (figure II-8et II-9) appelé signal logique par des nombreux constructeurs.

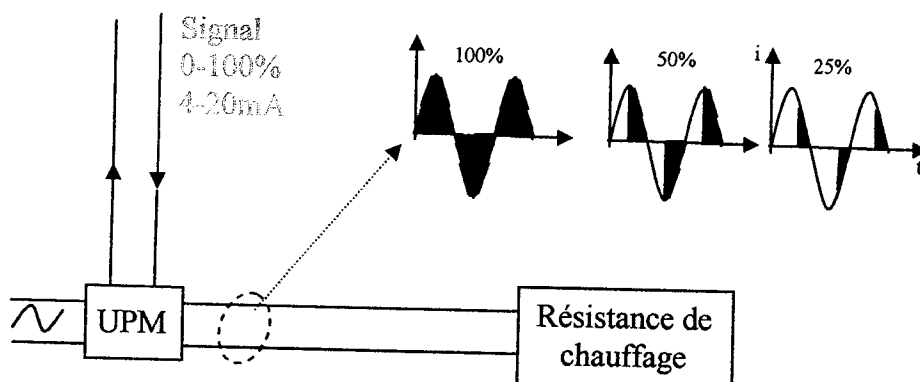


Figure II-8 : Schéma simplifié d'une UPM

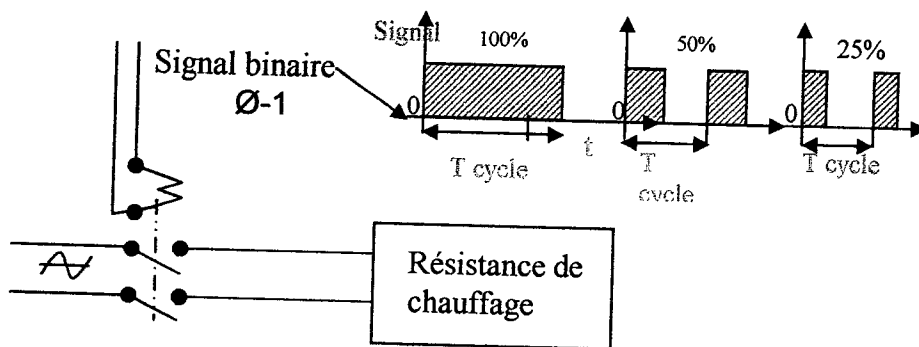


Figure II-9 : l'unité de puissance peut être un simple relais électromécanique.

III-2-Relais Tout ou Rien (T.O.R) :

Le contrôle de certains organes de sécurité nécessite souvent de disposer uniquement des deux états: ouvert ou fermé. De telles relais se représentent naturellement de façon différente.

III-3-Choix d'un organe de puissance :

Au-delà de considérations économiques liées le coût de l'actionneur et au choix stratégique de type de grandeur commande (par exemple électrique), ce problème est majeur pour l'ingénieur de régulation. En effet il serait vain de vouloir utiliser des techniques avancées de contrôle-commande si les organes de mesure et de commande n'ont pas été choisis en adéquation avec le procédé et en fonction des conditions d'exploitation imposées.

IV-SCHEMA FONCTIONNEL:

Pour élaborer une stratégie de régulation pour un procédé complexe; il est souvent nécessaire de faire appel à un schéma plus simple dit **fonctionnel**, plus dépouillé, où ne figurent plus que les grandeurs à maîtriser et les grandeurs incidentes.

Lorsqu'un procédé, même élémentaire, comporte plusieurs grandeurs à maîtriser, on utilise autant de schémas qu'il y a de grandeurs à maîtriser. Cette méthode revient à considérer ces grandeurs, même si, en fait, elles ne le sont pas. Le couplage entre ces grandeurs sera explicite en faisant figurer les unes comme grandeurs incidentes des autres. Le schéma fonctionnel d'une étuve est donné (figure II-10).

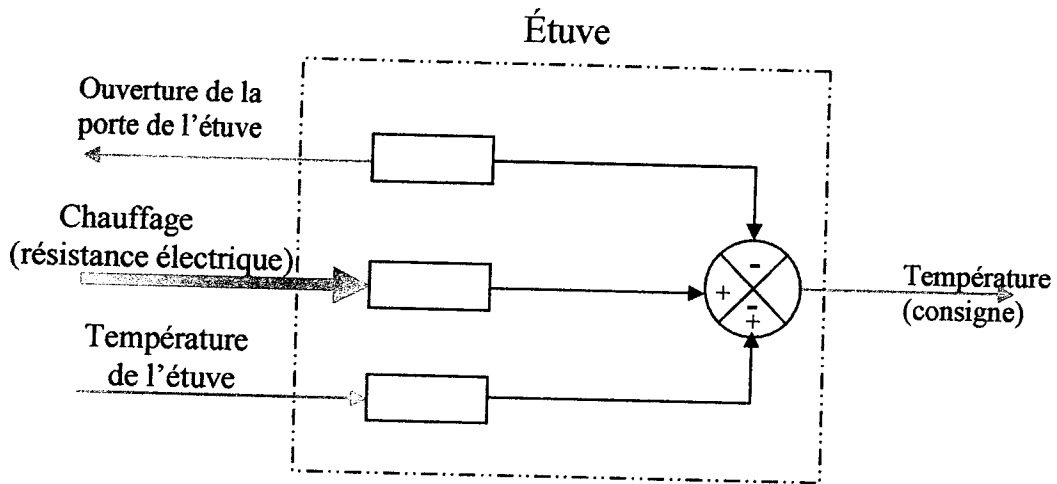


Figure II-10 : schéma fonctionnel détaillé.

On constate en particulier qu'un schémas fonctionnel doit indiquer les sens d'action de chaque grandeur incidente, vis-à-vis de la grandeur à maîtriser considérée. Dans le cas de l'exemple de la figure II-10, une ouverture de la porte de l'étuve consiste une diminution de la température intérieure de l'étuve, ce qui justifie le signe moins au niveau du sommateur.

• **Hypothèse de la monoboucle simple de régulation :**

La stratégie de la régulation la plus simple consiste à commander une seule grandeur incidente par grandeur à maîtriser. Cette grandeur commandée sera appelée **grandeur réglante (G_R)**.

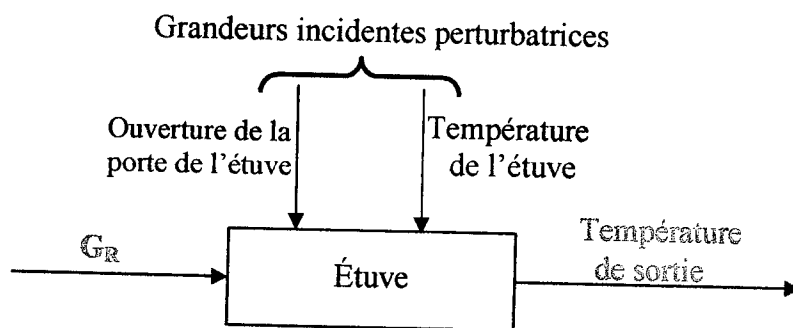


Figure II-11 : schémas fonctionnel simplifié.

Son choix doit être judicieux et tenir compte notamment :

- des impératifs de sécurité ;
- du « poids » de l'influence de cette grandeur sur la grandeur à maîtriser ;

- de sa rapidité d'action ;
- de la liberté d'action sur cette grandeur, qui ne peut donc pas être une grandeur à maîtriser d'une boucle de régulation.

Compte tenu du rôle particulier de la grandeur réglante, vis-à-vis de l'évolution de la grandeur à maîtriser, on est conduit à représenter la grandeur réglante choisie comme indiqué sur le schéma de la figure II-11, les autres grandeurs incidentes étant représentées latéralement et s'appelant désormais **perturbations**. En effet toute variation de ces grandeurs va modifier la grandeur à maîtriser malgré le dispositif de commande. Le choix d'une grandeur réglante est, pour l'ingénieur de régulation, une étape très délicate car fondamentale pour les performances de la régulation mise en œuvre par la suite.

V-CARACTERISTIQUES STATIQUES D'UN SYSTEME:

Pour traduire le principe de causalité entre grandeurs à maîtriser et grandeurs incidentes, l'utilisation des schémas fonctionnels impose un nouveau vocabulaire. Les grandeurs observées d'un procédé sont appelées **grandeurs de sortie**, les grandeurs incidentes (grandeur réglante et perturbation) sont les **grandeurs d'entrées**.

La stratégie élémentaire mise en œuvre pour la régulation d'un procédé comportant plusieurs grandeurs à maîtriser fait correspondre à chaque une d'elle une grandeur unique appelée grandeur réglante G_R , que l'on choisit de commander par un actionneur pour ramener la grandeur à maîtriser à la valeur désirée (consigne), les autres grandeurs incidentes G_I étant considérées comme des perturbations. Une telle association, grandeur réglée-grandeur réglante, définit un **système élémentaire**.

Un procédé peut être considéré comme une juxtaposition de systèmes, qui représentent les plus petites entités prises en compte pour une régulation. L'hypothèse de la monoboucle simple consiste à décomposer chaque procédé en autant de système qu'il y a de grandeurs à maîtriser, tous les systèmes étant considérés comme indépendants pour une première approche, malgré les couplages dus aux grandeurs perturbatrices.

Une caractéristique statique d'un système donne les valeurs d'une grandeur de sortie du système en fonction de celles d'une grandeur d'entrée, en régime permanent, les autres

grandeurs d'entrée étant maintenues à des valeurs constantes déterminées. Celles-ci pouvant être considérées comme des paramètres, on dispose en fait d'un réseau de **caractéristique statique** du système.

Les courbes les plus intéressantes lient la grandeur réglée à la grandeur réglante ; elles sont parfois appelées **caractéristiques statiques de transfert réglant**. Dans la pratique, l'appellation caractéristique statique, sans indication particulière, désigne toujours l'une de ces courbes.

Dans tout les cas :

- La grandeur réglée du système (température, pression,...) est représenté par un signal de mesure M , ou signal de sortie, exprimé en pourcentage de l'échelle du transmetteur ;
- La grandeur réglante (la température,...) est pilotée par un signal de commande Y_R , exprimé également en pourcentage. Les caractéristiques du système « englobent », par nécessité, les caractéristiques du transmetteur et celles de l'actionneur. La figure II-12 fournit un schéma fonctionnel de système, sous forme détaillée puis simplifiée.

Il faut savoir que la mesure peut parfois se noter X ou PV (process value).

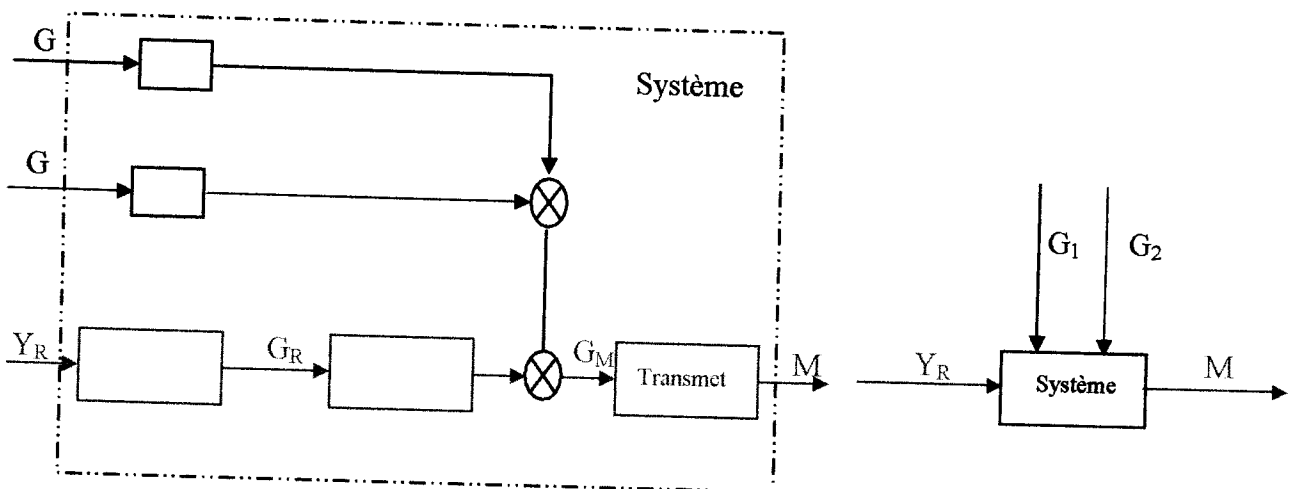


Figure II-12 : Caractéristique statique d'un système.

VI-PRINCIPE DE REGULATION (P-PI-PID) :**VI-1-La régulation par tout ou rien :**

Chaque fois qu'il y a "régulation", il y a adaptation de la fourniture de chaleur aux besoins réels de l'étuve. L'existence d'une sonde, d'un capteur (circuit intégré LM35Z ou éventuellement thermistance) permet d'avoir le feedback de la situation et de fournir l'intensité de chauffe voulue. Il y a comparaison entre la consigne attendue et la valeur atteinte. De cet écart naît une action correctrice.

Prenons l'exemple d'une régulation de la température ambiante par un groupe frigorifique. Supposons une consigne placée à 24°C. Si la température ambiante dépasse la valeur de consigne (24,05°C), le régulateur le détecte et ferme l'interrupteur. Le compresseur est enclenché à 100 % et la température du local redescend.

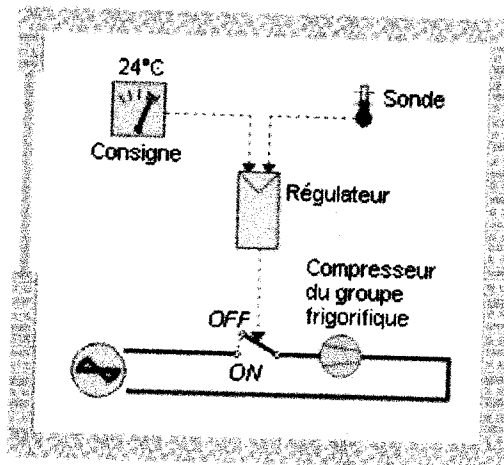


Figure II-13 : exemple d'une régulation de la température ambiante par un groupe frigorifique.

Si une température de 23,95°C suffisait pour arrêter le groupe frigorifique, un risque de "pompage" apparaîtrait : le compresseur passerait de "marche" à "arrêt", puis à "marche", ... avec une telle fréquence, le matériel en souffrirait. On prévoit dès lors le placement d'un différentiel, dont la valeur est réglable par le constructeur.

Par exemple : le compresseur s'enclenche à 24°C et s'arrête à 23°C.

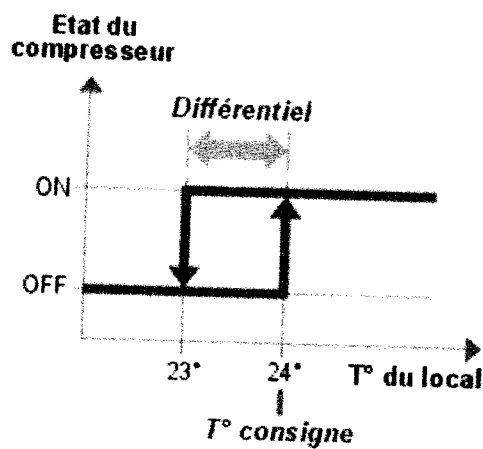


Figure II-14 : Schéma synoptique pour une régulation T.O.R

Ceci se repère sur le schéma de régulation par les flèches montante (enclenchement) et descendante (déclenchement).

Plus le différentiel est élevé plus la machine travaillera dans de bonnes conditions (longues plages de travail propices à un bon rendement du compresseur), mais plus la température oscillera dans le local ... Ceci diminue le confort et généralement augmente la consommation (ici, la vraie température moyenne de consigne est de 23,5°).

Et ce phénomène est amplifié par l'inertie du local : le local a un temps de repos tel que le différentiel réel est peut être de 1,6°C (22,7 à 24,3°C, par exemple).

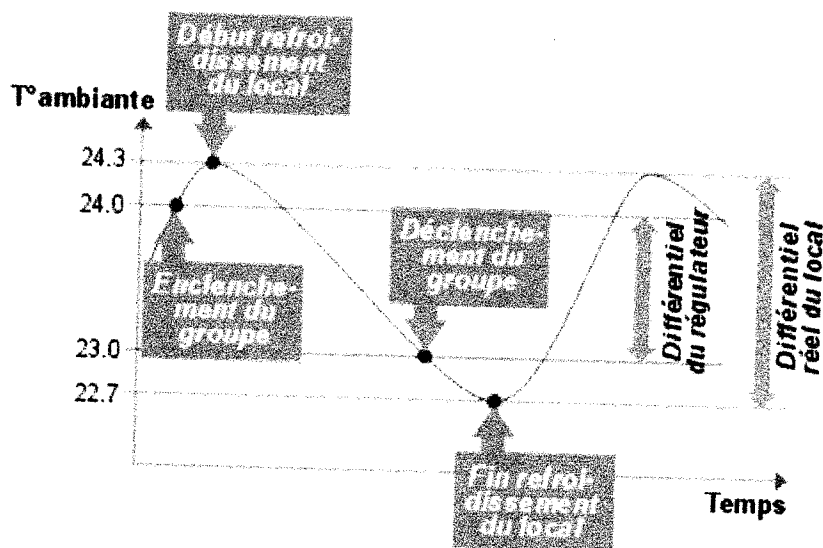


Figure II-15 : Différentiel du régulateur.

Ce différentiel dépend du type d'application. Ainsi, la régulation d'une résistance chauffante électrique peut se concevoir avec un différentiel beaucoup plus court : une résistance accepte

sans dommage une alimentation très "hachée", avec un enclenchement à $20,9^\circ$ et un déclenchement à $21,1^\circ$, par exemple, pour une consigne à 21° .

VI-2-La régulation Proportionnelle (P) :

Imaginons une étuve à réguler : un courant de chauffe qui modulerait la température d'alimentation d'une résistance chauffante pour que celle-ci reçoive la température juste nécessaire, telle que l'émission de chaleur par la résistance chauffante soit justement égale aux déperditions du laboratoire. C'est dans ce cas que la température d'ambiance serait stable.

Soit une consigne fixée à 50°C . Au départ la température ambiante est inférieure à la consigne, il faut donc chauffer l'étuve.

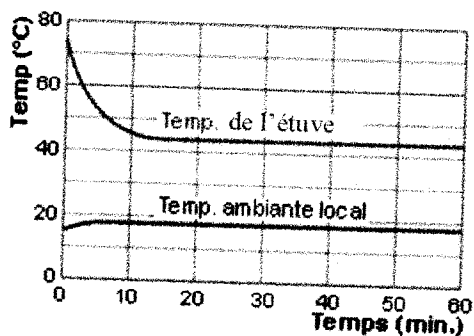


Figure II-16 : Régulation P.

Supposons que le thyristor soit tout ouvert pour 47°C (écart de 3° par rapport à la consigne). Un fort courant arrive, la température de l'étuve monte et arrive à $48,5^\circ$. L'écart est alors de $1,5^\circ\text{C}$ et le thyristor n'est plus ouvert qu'à 50 %.

Hélas, arrivée à 49°C , plus rien ne bouge : la température de l'étuve est stabilisée et l'ouverture du thyristor aussi : il est ouvert au tiers de sa valeur maximale.

Pourquoi ?

Avec une ouverture au tiers, il fournit un courant tel que l'émission de la résistance compense exactement les pertes de l'étuve. La température reste à 49°C , l'écart reste de 1°C par rapport à la consigne, et cet écart entraîne 33 % d'ouverture ! Tout est stable et le restera.

Il est d'ailleurs impossible que l'on atteigne les 50°C souhaités ! Si c'était le cas, l'écart serait nul, le thyristor serait ouvert, l'étuve se refroidirait puisque les déperditions continuent, donc l'écart ne resterait pas nul !

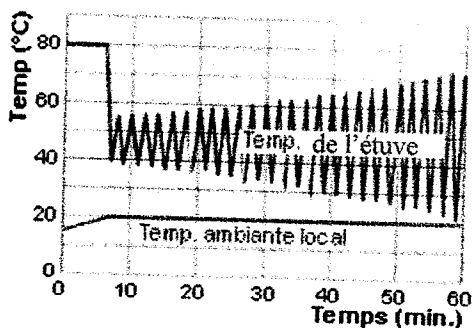
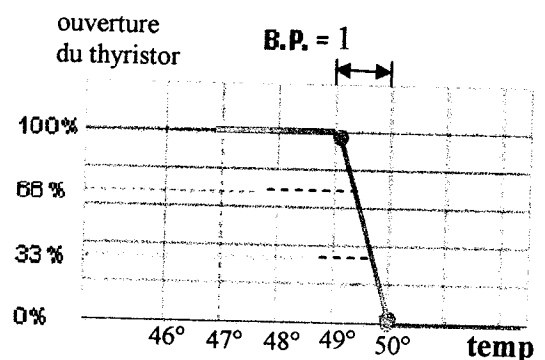
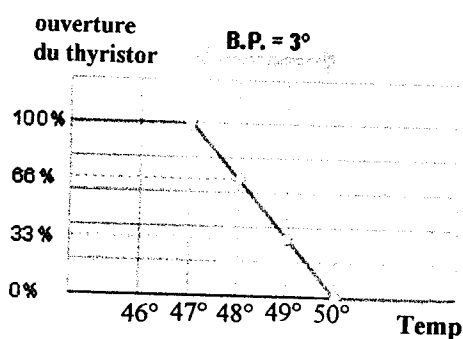
C'est le problème d'une régulation proportionnelle à l'écart par rapport à la consigne : puisqu'il faut du chauffage, il faut que le thyristor soit fermé, il faut donc qu'un écart subsiste. La température se stabilisera sur 49°C , au lieu des 50°C demandés.

Ne pourrait-on "tricher" sur la consigne ?

Pourquoi ne pas indiquer 49° sur le régulateur au lieu de 50°C ? Hélas non : imaginons qu'il fasse 0°C à l'extérieur, le chauffage aura besoin de toute la puissance de chauffe, le thyristor devra être fermé à 100 %. La température ambiante va donc se stabiliser sur 47°C . Il faudrait donc adapter l'indication du régulateur en fonction de la température extérieure, ce qui est impossible.

Nouvelle idée : ne pourrait-on pas diminuer la plage de température qui génère la fermeture du thyristor ?

En reprenant la situation précédente, si le thyristor était 100 % fermé en dessous de 49°C , elle se stabiliserait à 33 % de sa valeur pour une température ambiante de $49,66^{\circ}\text{C}$. C'est effectivement une possibilité : on dit que l'on réduit la **bande proportionnelle** de 3 à 1°C .



Mais cette solution a ses limites : avec une bande proportionnelle trop courte, le système va se mettre à osciller, passant de trop ouvert à trop fermé, parfois sans pouvoir se stabiliser. On dit que le système "pompe", incapable de se stabiliser.

VI-3-La régulation Proportionnelle - Intégrale (PI) :

En agissant avec une force proportionnelle à l'écart entre la température réelle de l'étuve et la consigne, un écart subsiste en permanence. On décide dès lors que la force d'intervention aura deux composantes. La première, c'est la force proportionnelle à l'écart, comme dans la première solution ci-dessus. Mais une deuxième force la complète : une force proportionnelle à l'intégration de l'écart dans le temps, c'est-à-dire proportionnelle à la somme de tous les écarts mesurés en permanence.

Si la température se stabilise à 49°C, de par la composante proportionnelle, un écart de 1°C subsiste. Tous les "pas de temps" étant additionnés, le régulateur va mesurer cet écart et l'additionner à la valeur d'une case "mémoire". L'ouverture du thyristor sera donnée par la somme des 2 composantes. Tant que la consigne ne sera pas atteinte, la composante Intégrale augmentera, le thyristor s'ouvrira un peu plus, jusqu'à atteindre cette fois la consigne.

Une fois celle-ci atteinte, l'écart est nul et la composante intégrale n'est plus modifiée (puisqu'elle additionne une valeur "0"). Si la consigne est dépassée, l'écart sera négatif et la composante intégrale diminuera.

Dans le fond, cette composante intégrale ne pourrait-elle travailler seule ? Non, elle est trop lente pour réagir efficacement à des variations de la demande thermique. Il faudrait diminuer son pas de temps (diminuer le "temps d'intégration") mais alors à nouveau le système devient instable.

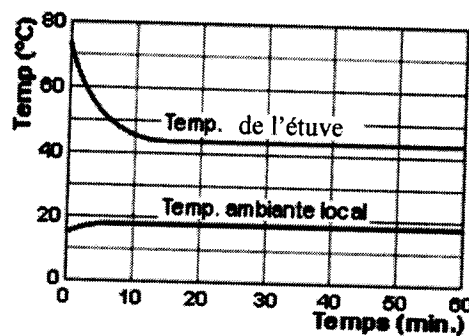


Figure II -17:

C'est bien le mariage des 2 actions (P et I) qui est le plus adéquat pour répondre à la demande : la composante P fait le gros du travail, puis la composante I affine dans le temps.

C'est le mode de régulation souvent rencontré dans les systèmes thermiques à eau par exemple.

VI-4-La régulation Proportionnelle - Intégrale - Dérivée (PID) :

Dans les installations de conditionnement d'air comme c'est notre cas, le fluide à réguler peut être de l'air. Or, n'ayant que peu de capacité thermique, l'air verra sa température varier très rapidement en fonction de l'état du thyristor. Il faut donc ajouter une 3ème composante à la grandeur de réglage : une force dont la valeur est d'autant plus grande que l'écart varie rapidement, c'est-à-dire d'autant plus grande que la "dérivée" de l'écart par rapport au temps est élevée.

La valeur de la "grandeur réglée", la température de la résistance chauffante (ou ici la fermeture du thyristor) sera le résultat d'une addition de 3 grandeurs : une composante proportionnelle à l'écart existant (P), une composante proportionnelle à l'intégrale de l'écart dans le temps (I) et une composante proportionnelle à la dérivée de l'écart (D).

Reste à affiner les bandes proportionnelles, temps d'intégration et temps de dérivation pour adapter l'importance respective de ces 3 composantes. C'est le travail du "metteur au point" de l'installation de régulation qui affine les valeurs de base réglées.

CHAPITRE III
PARTIE PRATIQUE

Le but essentiel de notre travail consiste à étudier et réaliser la régulation d'une étuve. Les calculs permettant d'estimer les échanges énergétiques lors de la mise en œuvre de l'étuve sont donnés en Annexe.

Le circuit électronique permettant la régulation de l'étuve est du type tout ou rien.

On a jugé bon premièrement de réaliser un capteur de température (Thermomètre électrique) à base d'un semi-conducteur LM35Z (voir Annexe II) qui premièrement sera utiliser lors des TP de thermodynamique et ensuite servant de capteur pour notre circuit.

L'affichage de la température peut se faire de deux manières :

- Affichage à LED (figure III-4).
- Affichage à cristaux liquides (figure III-6).

III-1-Etude du circuit LM35Z :

On utilise un circuit intégré LM35Z (à semi-conducteur) qui doit être protégé de l'eau en utilisant la sonde d'un voltmètre formée par trois fils. Le circuit LM35Z est bien enrobé par une colle protectrice. (Voir figure III-1)

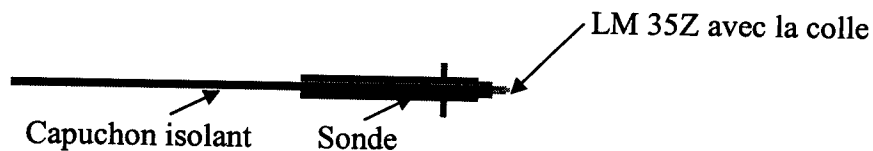


Figure III-1 : Schéma synoptique de capteur avec une sonde.

Montage :

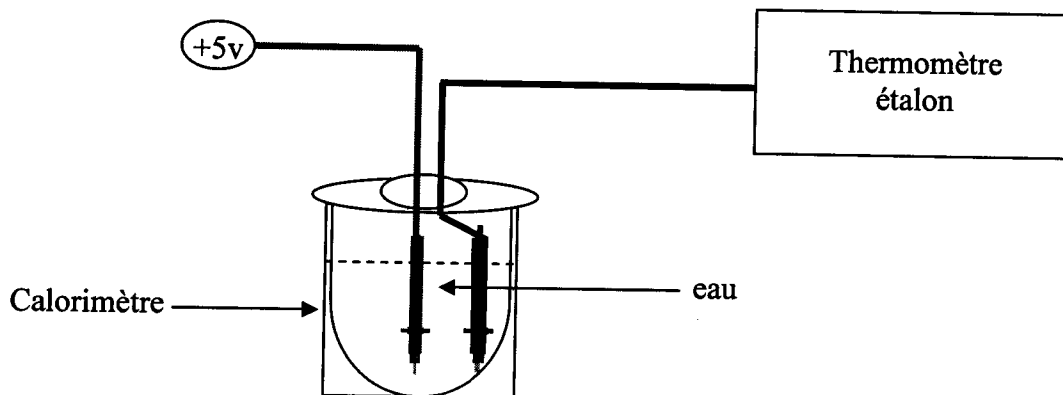


Figure III-2 : Montage pour l'étude de capteur LM35Z.

Résultats de l'étalonnage :

Tableau III-1 : Résultats de l'étude de capteur LM35Z.

T (°C)	91,3	82,1	75,7	71,6	67,8	59,7
Tension (V)	0,889	0,796	0,733	0,69	0,657	0,577
T(°C)	52,4	50,7	38,8	32,7	26,1	19,4
Tension (V)	0,507	0,438	0,375	0,318	0,25	0,185
T (°C)	14,3	11,1	6	2,4	0,3	
Tension (V)	0,136	0,105	0,055	0,025	0,006	

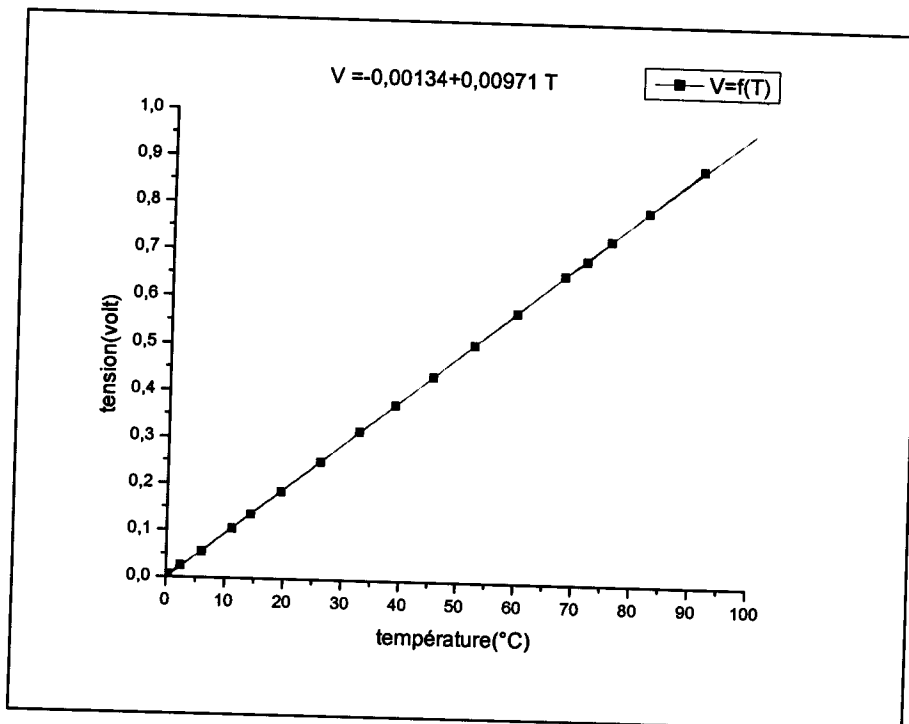
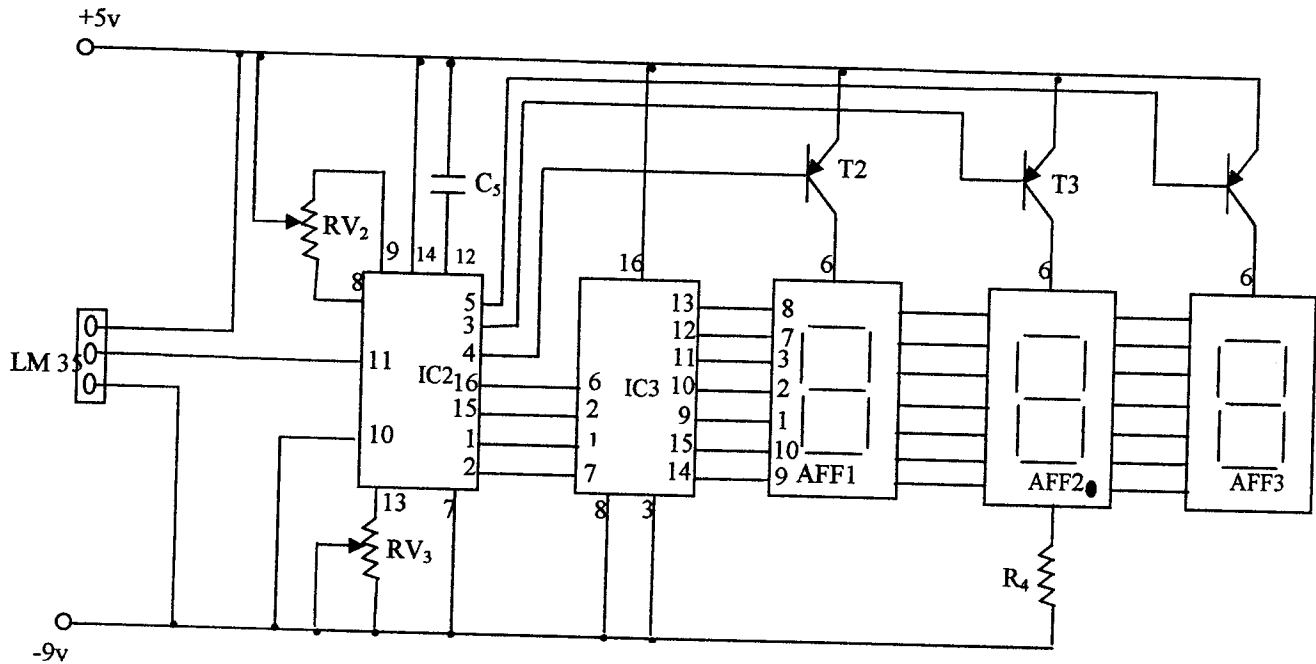


Figure III-3: étude du capteur LM35Z : Tension de sortie en fonction de la température.

La courbe obtenue est une droite qui croît en fonction de la température.
 La pente est de $0,00971 \text{ V/}^\circ\text{C}$ ou $9,71 \text{ mV/}^\circ\text{C}$
 Cette linéarité présente un avantage pour nous permettre de construire notre thermomètre.

III-2- Le thermomètre :**A. Premier thermomètre :**

Schéma du montage électronique :

**Figure III-4 : Circuit d'affichage.**

Ce circuit présente l'avantage de visualiser la valeur de la température même dans le noir et à distance ; mais sa consommation est relativement élevée : 2A.

Principe de fonctionnement du système d'affichage :

Une fois la température est captée, on avait plusieurs possibilités d'affichage. On s'intéresse dans notre cas à un circuit simple d'affichage numérique.

On remarque bien que le circuit d'affichage fait appel à deux circuits intégrés ; le CA3161 et le CA3162.

Le CA3162 est un convertisseur analogique numérique (A/N) possédant des sorties BCD multiplexés broche (16, 11 et 2) et autorisant des valeurs inférieurs à +999mV.

Le potentiomètre RV_2 sert à stabiliser la tension minimale et le potentiomètre RV_3 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 à sept segment et le signal multiplexé commande les trois afficheurs à l'aide des transistors.

Les broches 3,4,5 de même circuit CA3162 ne peuvent pas attaquer directement les anodes des afficheurs à cause du courant qui peut atteindre 2A. C'est pourquoi il est nécessaire d'utiliser les trois transistors sur l'anode de chaque afficheur pour protéger celui-ci contre les courants trop fort qui risquent de l'endommager.

Le CA3161 est un décodeur BCD à sept segments. La sortie de celui-ci est injectée simultanément aux trois afficheurs, les sorties 3, 4,5 du CA3162 commande l'allumage et l'extinction de ces afficheurs.

Etalonnage du thermomètre:

Les résultats obtenus avec le circuit d'affichage sont donnés dans le tableau suivant :

T (°C)	95,5	92	88,3	84,6	81,8	78,7	75,2	71,8
T _{affichage} (°C)	95,5	92,4	88,6	85	82	78,9	75,4	71,9
T (°C)	69,7	66,7	63,8	60,5	57,4	54,4	51,4	48,6
T _{affichage} (°C)	71,9	70	66,9	64	60,7	57,5	54,6	48,6
T (°C)	45,9	42,3	39,7	36,4	33	30,6	27,5	24,1
T _{affichage} (°C)	46	42,6	39,9	36,7	33,4	30,8	27,8	24,4
T (°C)	21,1	18,6	15,2	12,5	9,6	6,2	3,5	2
T _{affichage} (°C)	21,5	19	15,5	12,9	10	6,6	3,9	2,3

Avec :

T : la température donnée par un thermomètre « étalon » Tektronix.

T_{affichage} : la température donnée par notre circuit d'affichage.

Tableau III-2 : Résultats de l'étude de circuit d'affichage.

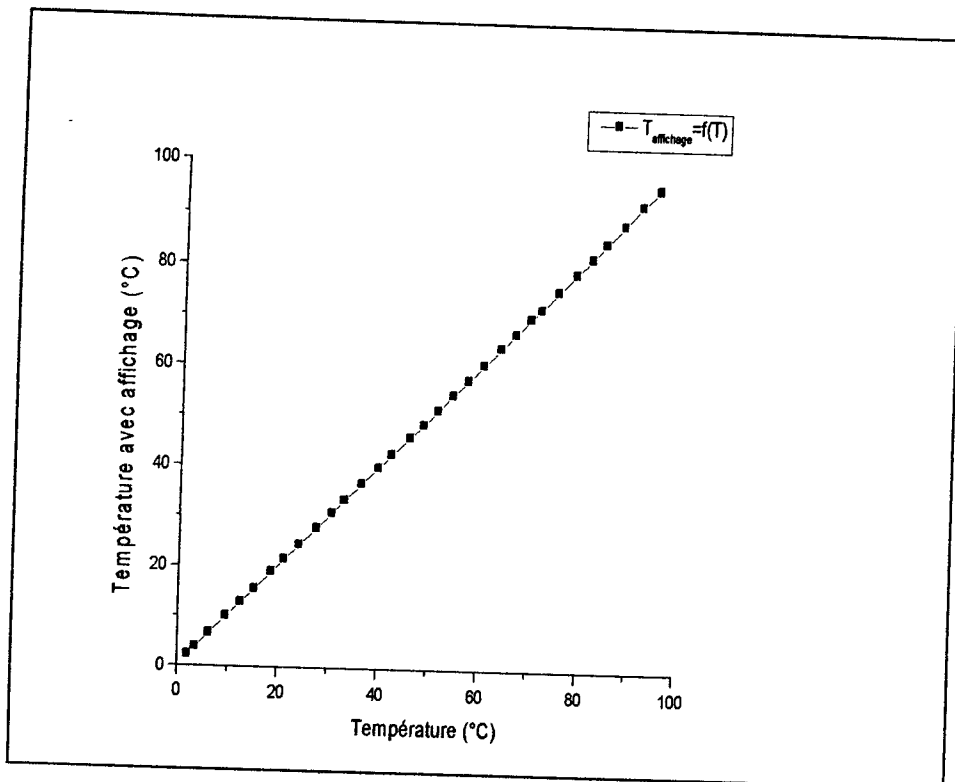


Figure III-5 : courbe d'étalonnage du thermomètre : température avec affichage en fonction de température.

$$T_{\text{affichage}} = 0.35011 + 0.99801T$$

La représentation graphique de la fonction $T_{\text{affichage}} = f(T)$, est une droite passe par l'origine à une erreur près, la pente étant égale à $0.99801 \approx 1$.

B. Etalonnage de deuxième thermomètre :

Ce thermomètre ultra simple à base du semi conducteur LM35Z utilise un multimètre numérique à affichage à base des cristaux liquides, avec une consommation très faible de $60\mu\text{A}$ environ

En effet la température, dans notre cas convertie en tension, est affichée directement ($10\text{mV}/^\circ\text{C}$).

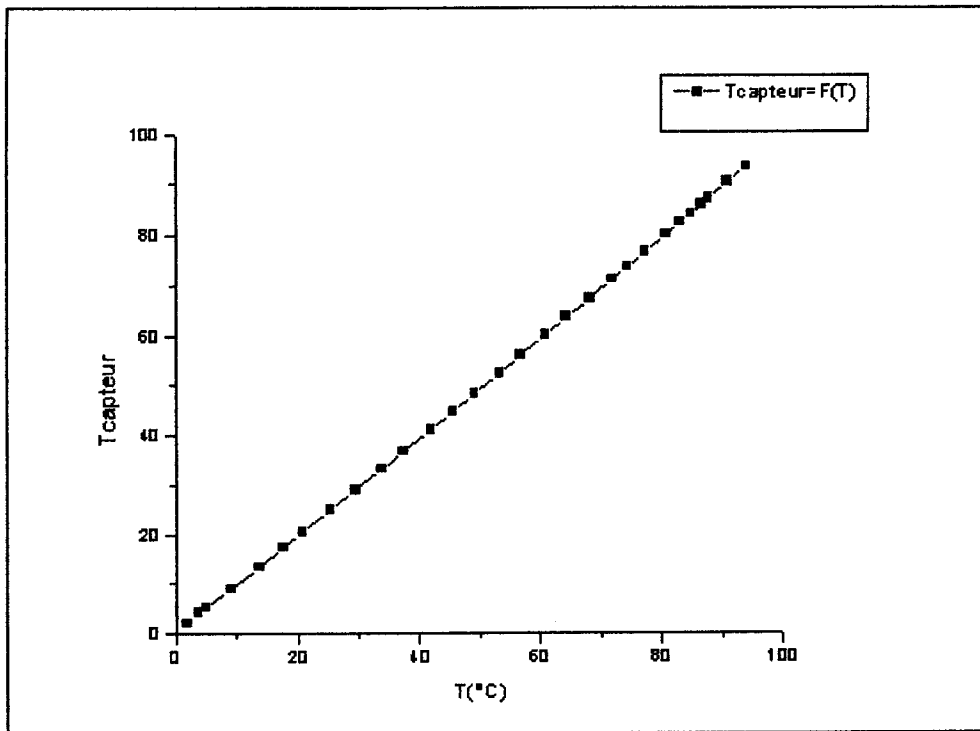


Figure III-7 : courbe d'étalonnage du thermomètre : température de capteur en fonction de température.

$$T_{\text{capteur}} = -0,03963 + 0,99037T$$

La représentation graphique de la fonction $T_{\text{capteur}} = f(T)$, est une droite passe par l'origine à une erreur près, la pente étant égale à $0,99037 \approx 1$.

III-3- Le thermostat :

Prises par l'indisponibilité d'un circuit intégré (TDA1023) ; voire Annexe (4), qui permet une bonne régulation de notre système (étuve), nous avons été obligé dans des circonstances de temps ainsi que d'autre contraintes à proposer un circuit simple qui peut remplacer avec moins de performance notre circuit intégré TDA1023.

Montage électronique :

Le circuit choisit est le suivant :

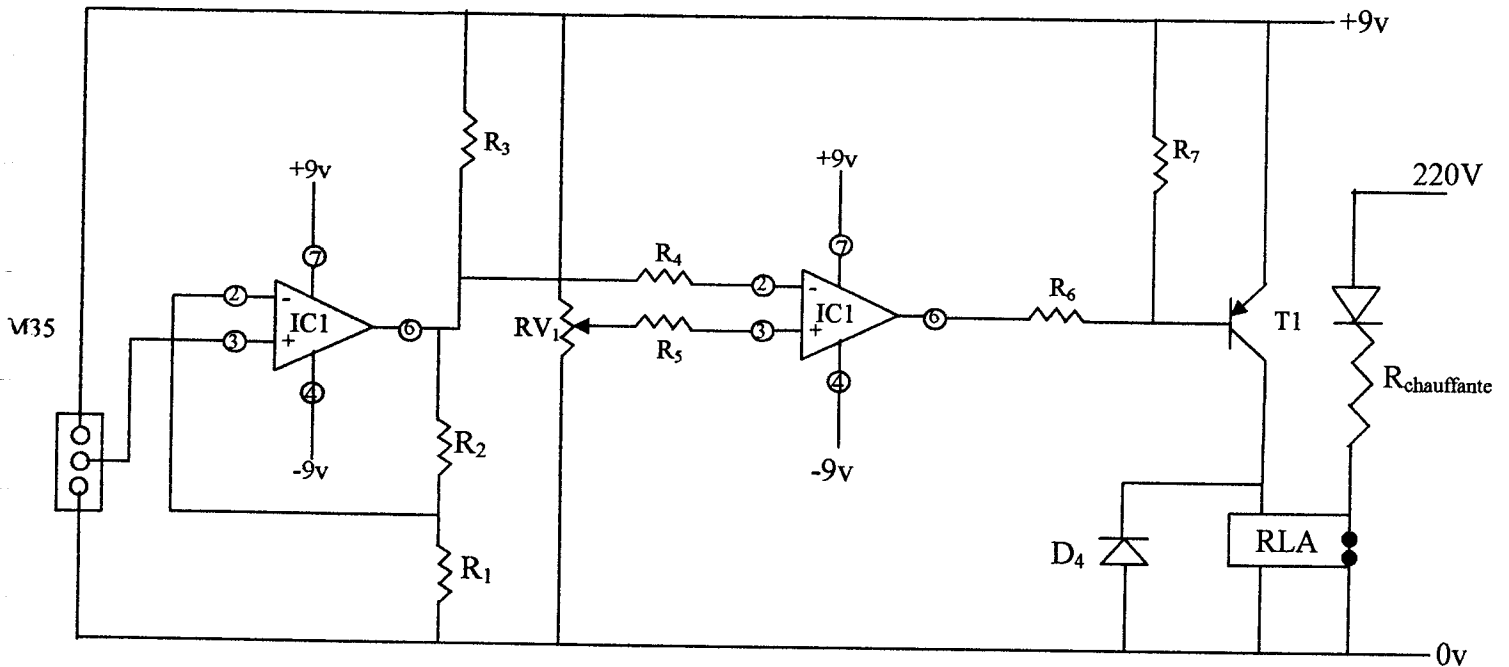


Figure III-8: circuit de commande.

Ce montage permet de fermer ou ouvrir le relais suivant que la température de consigne est atteinte ou non.

Principe de fonctionnement :

Sur le schéma de la figure III-8, est représenté un thermostat à élément chauffant de grande puissance.

On amplifie la tension de sortie du capteur LM35Z par un amplificateur opérationnel $\mu A741$ qui peut fonctionner comme amplificateur non inverseur en appliquant le signal d'entrée à la borne positif (pate3).

Le gain est donné par la relation suivante :

$$A_v = \frac{R_1 + R_2}{R_1} \quad \text{où } R_1 = 10K\Omega \quad \text{et } R_2 = 100K\Omega$$

A.N

$$A_v = \frac{10 + 100}{10} = 11$$

La tension amplifiée appliquée sur la pête 2 du $\mu A741$ à travers la résistance R_4 , l'amplificateur opérationnel ($\mu A741$) est branché comme amplificateur différentiel à boucle ouverte (ou comparateur de tension). La valeur de la consigne est fixée par un potentiomètre de $10K\Omega$, il suffit qu'il y ait variation de température sur le capteur pour entraîner une variation de tension aux bornes du $\mu A741$. La sortie de AOP est reliée un transistor et un relais de puissance qui soient bloqués quand l'AOP est à l'état saturée positif, ceux-ci étant débloqués quand l'AOP est à l'état saturé négatif.

La résistance chauffante est branchée en série avec le relais, de sorte que quand le relais est fermé la résistance chauffe et vis vers a

III-4- Résultats de la régulation :

Notre circuit de régulation est expérimenté sur un bêcher rempli d'eau de contenance 600ml environ. La résistance de chauffe utilisée est d'une puissance 440watt, branchée avec une diode de puissance. Le capteur de température est LM35Z. la température réelle de notre milieu à réguler est affichée sur des LED, et la température de consigne est fixée par un potentiomètre.

Les résultats obtenus sont tracés pour trois températures de consigne :

$T=37^\circ C$, $T=47^\circ C$, $T=77^\circ C$.

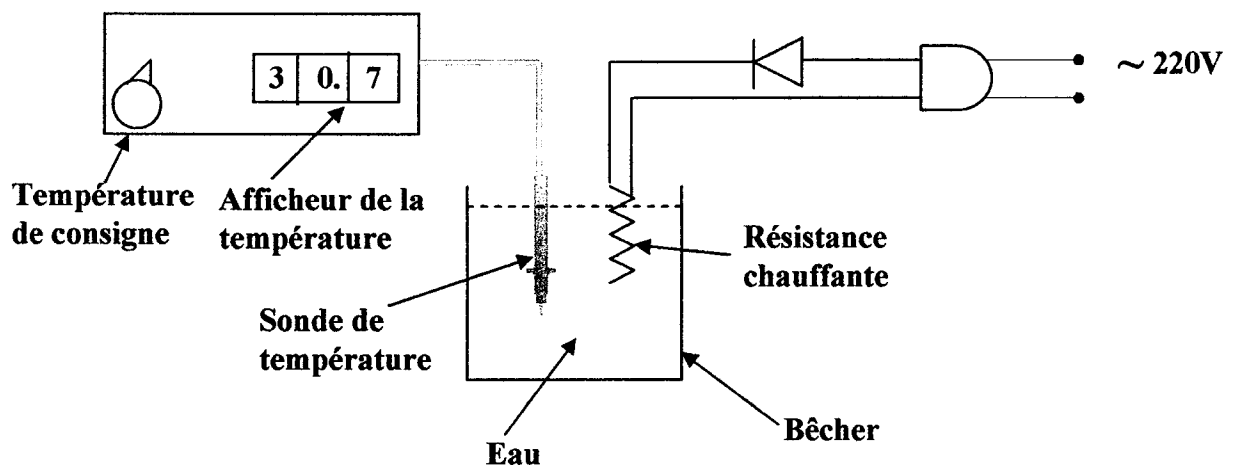


Figure III-9: Expérience de régulation.

$T=37^{\circ}\text{C}$

Les résultats obtenus est obtenus est données par le tableau suivant :

Tableau III-4 : Résultats de régulation pour $T=37^{\circ}\text{C}$.

Temps (s)	T ($^{\circ}\text{C}$)	Temps (s)	T ($^{\circ}\text{C}$)	Temps (s)	T ($^{\circ}\text{C}$)	Temps (s)	T ($^{\circ}\text{C}$)
0	31,2	990	37,6	1980	36,9	2970	36,3
30	34,1	1020	37,6	2010	36,8	3000	36,3
60	36,5	1050	37,6	2040	36,8	3030	36,3
90	38,1	1080	37,6	2070	36,8	3060	36,3
120	38,4	1110	37,5	2100	36,8	3090	36,3
150	38,5	1140	37,5	2130	36,8	3120	36,3
180	38,5	1170	37,5	2160	36,7	3150	36,2
210	38,5	1200	37,4	2190	36,7	3180	36,2
240	38,4	1230	37,4	2220	36,7	3210	36,2
270	38,4	1260	37,4	2250	36,7	3240	36,2
300	38,4	1290	37,4	2280	36,7	3270	36,2
330	38,3	1320	37,3	2310	36,7	3300	36,2
360	38,3	1350	37,3	2340	36,6	3330	36,2
390	38,3	1380	37,3	2370	36,6	3360	36,2
420	38,2	1410	37,3	2400	36,6	3390	36,1
450	38,2	1440	37,2	2430	36,6	3420	36,1
480	38,2	1470	37,2	2460	36,6	3450	36,1
510	38,1	1500	37,2	2490	36,6	3480	36,1
540	38,1	1530	37,2	2520	36,6	3510	36,1
570	38,1	1560	37,2	2550	36,5	3540	36,1
600	38	1590	37,1	2580	36,5	3570	36,1
630	38	1620	37,1	2610	36,5	3600	36,1
660	38	1650	37,1	2640	36,5	3630	36,1
690	37,9	1680	37,1	2670	36,5	3660	36,1
720	37,9	1710	37,1	2700	36,5	3690	36
750	37,9	1740	37	2730	36,4	3720	36
780	37,8	1770	37	2760	36,4	3750	36
810	37,8	1800	37	2790	36,4	3780	36
840	37,8	1830	37	2820	36,4	3810	36
870	37,7	1860	36,9	2850	36,4	3840	36
900	37,7	1890	36,9	2880	36,4	3870	36
930	37,7	1920	36,9	2910	36,4	3900	36
960	37,6	1950	36,9	2940	36,3	3930	36

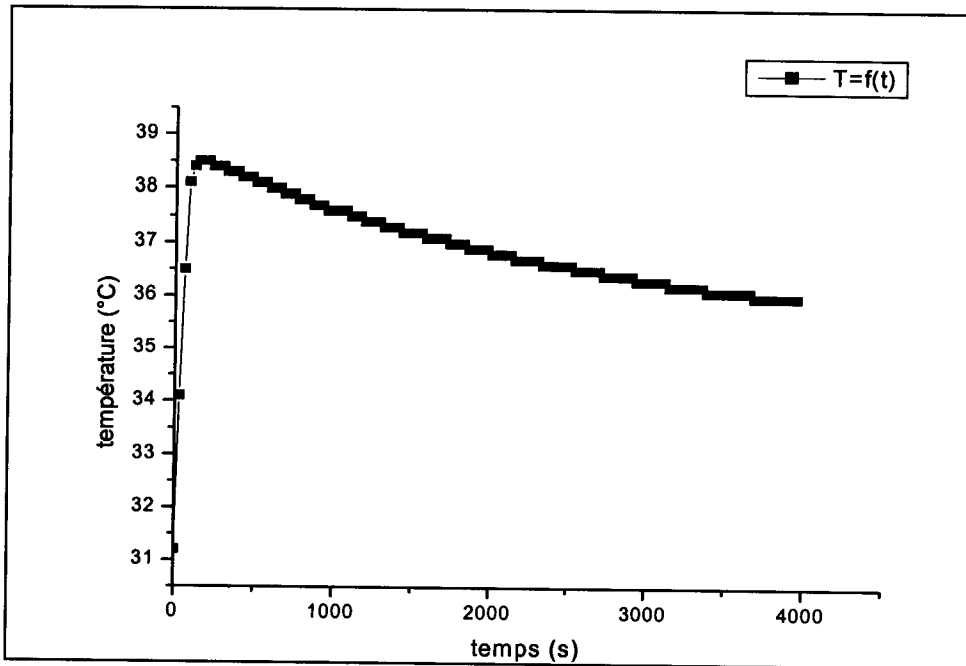


Figure III-10 : résultat de régulation pour T=37°C

T=47°C : Tableau III-5 : Résultats de régulation pour T=47°C.

Temps(s)	T (°C)	Temps(s)	T (°C)	Temps(s)	T (°C)	Temps(s)	T (°C)
0	30,5	260	48,8	520	47,7	770	46,6
10	30,9	270	48,8	530	47,7	780	46,6
20	31,5	280	48,8	540	47,6	790	46,6
30	32,2	290	48,7	550	47,6	800	46,5
40	33,1	300	48,7	560	47,6	810	46,5
50	33,9	310	48,7	570	47,5	820	46,4
60	34,8	320	48,6	580	47,5	830	46,4
70	35,7	330	48,6	590	47,4	840	46,3
80	36,7	340	48,5	600	47,4	850	46,3
90	37,6	350	48,5	610	47,3	860	46,3
100	38,5	360	48,5	620	47,3	870	46,2
110	39,5	370	48,4	630	47,2	890	46,2
120	40,4	380	48,4	640	47,2	900	46,2
130	41,3	390	48,3	650	47,1	910	46,1
140	41,2	400	48,3	660	47,1	920	46,1
150	43,2	410	48,2	670	47,1	930	46
160	44,1	420	48,2	680	47	940	46
170	45	430	48,1	690	47	950	46
180	46	440	48,1	700	46,9	960	46,1
190	46,9	450	48	710	46,9	970	46,6
200	47,8	460	48	720	46,8	980	47,3
210	48,3	470	48	730	46,8	990	47,7
220	48,5	480	47,9	740	46,8	1000	48,4
230	48,7	490	47,9	750	46,7	1010	48,6
240	48,7	500	47,8	760	46,7	770	46,6
250	48,8						

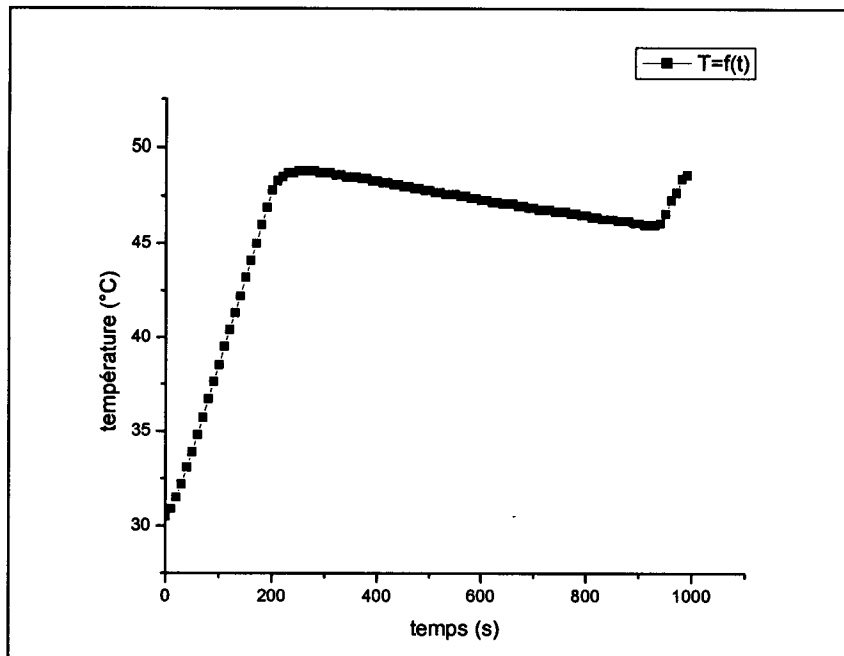


Figure III-11 : résultat de régulation pour T=47°C

T=77°C Tableau III-6 : Résultats de régulation pour T=77°C.

Temps(s)	Température (°C)	Temps (s)	Température (°c)	Temps(s)	Température (°C)
0	33.7	660	77	1320	75.8
30	37.8	690	76.7	1350	75.2
60	40.3	720	76.1	1380	75.8
90	42.7	750	75.5	1410	77
120	45.3	780	75.2	1440	76.9
150	47.7	810	76.0	1470	76.5
180	50.1	840	77.1	1500	76.0
210	52.5	870	76.9	1530	75.5
240	55.1	900	76.4	1560	75.2
270	57.4	930	75.9	1590	76.6
300	59.7	960	75.3	1620	76.9
330	63.0	990	75.8	1650	76.7
360	64.4	1020	76.8	1680	76.2
390	65.9	1050	77.0	1710	75.7
420	67.2	1080	76.6	1740	75.2
450	70.0	1110	76.1	1770	76.0
480	72.3	1140	75.5	1800	77.0
510	74.4	1170	75.2	1830	76.8
540	76.9	1200	76.4	1860	76.5
570	77.5	1230	77.0		
600	75.5	1260	76.6		
630	76.6	1290	76.3		

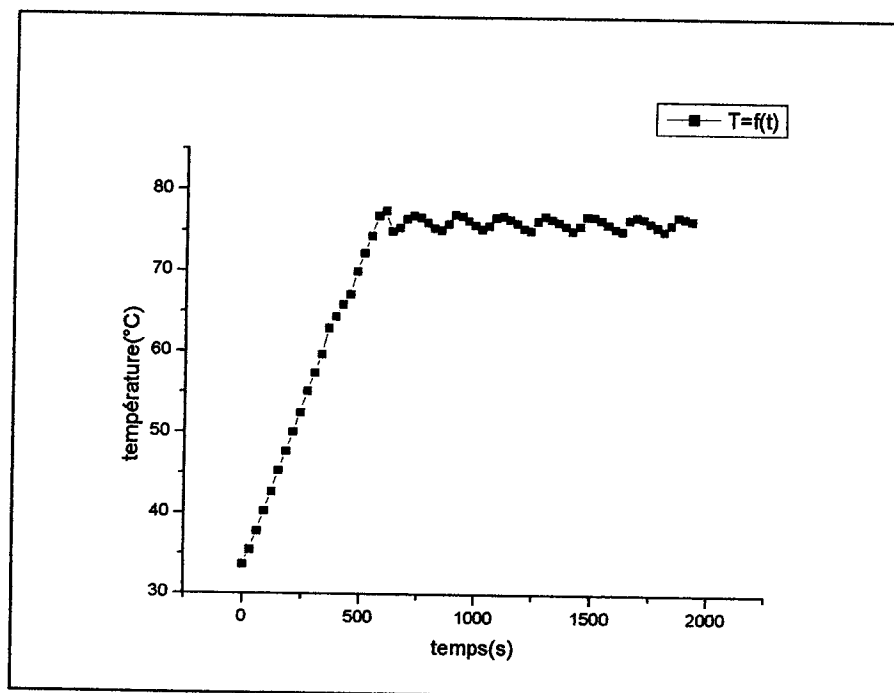


Figure III-12 : résultat de régulation pour $T=77^{\circ}\text{C}$

Interprétation des résultats de régulation

Les résultats obtenus montrent que l'erreur pour les trois courbes varie entre $1,9$ et $2,6^{\circ}\text{C}$. Ce résultat est tout à fait acceptable puisque nous avons utilisés un régulateur très simple tout ou rien.

La diode entre la phase et la résistance chauffante nous a permis de diminuer la vitesse de chauffe d'un facteur $\frac{1}{2}$ et par suite d'éviter au mieux l'effet de l'inertie thermique qui, comme nous le remarquons reste quand même remarquable selon nos résultats.

Conclusion

Le travail que nous avons réalisé dans ce projet nous a permis :

- premièrement de nous familiariser avec les notions de régulations et commandes de procédés,
- d'approfondir nos connaissances sur les circuits électroniques utilisés dans le domaine de régulation de température.
- de réaliser deux thermomètre destinés aux laboratoire de thermodynamique : un ultrasimple à affichage LCD et un autre à affichage LED,
- de proposer un circuit simple permettant une régulation tout ou rien.

Notre but était de proposer un circuit électronique plus performant basé sur un circuit intégré connu dans le domaine de régulation de température (TDA1023), qui hélas ne nous est pas parvenu jusqu'alors.

Nous souhaitons vivement que nos camarades étudiants le réaliseront dans un proche futur Incha Allah.

LISTE DES COMPOSANTS

RESISTANCES :

$R_1=R_3=10K\Omega$

$R_2=R_4=R_5=100K\Omega$

$R_6=4,7K\Omega$

$R_7=47K\Omega$

$R_8=100\Omega$

RESISTANCES VARIABLES :

$RV_1=RV_2=RV_3=10K\Omega$

CONDENSATEURS :

$C_1=C_3=4700\mu F, 16V$

$C_2=C_4=10\mu F$

$C_5=0,33\mu F$

DIODES:

$D_1 \longrightarrow$ Pont de diode

$D_2, D_3 \longrightarrow$ IN4007

D_4 de puissance.

TRANSISTORS:

$T1 \longrightarrow$ PN2907

$T_2, T_3= T_4 \longrightarrow$ 2N2904

REGULATEURS:

$RG1 \longrightarrow$ 7809

$RG2 \longrightarrow$ 7909

$RG3 \longrightarrow$ 7805

CIRCUITS INTEGRES:

2 IC1 → μ A741

IC2 → CA3162

IC3 → CA3161

RELAIS:

RLA (220V)

AFFICHEURS:

AFF, AFF2, AFF3 → Afficheurs anode commune.

Divers :

- 2 LM35Z.
- 2 inters rupture.
- Une prise.
- Résistance chauffante.
- 2 sondes.
- Un multimètre.
- Une boîte.
- Un transformateur.

ANNEXE (1)

Alimentation :

Presque tous les circuits électroniques (allant du simple circuit à transistor ou à amplificateur opérationnel aux systèmes plus élaborés digitaux ou à microprocesseur) requièrent une ou plusieurs sources de tensions continues stables. La simple alimentation constituée du transformateur, du pont à diodes et de la capacité de filtrage n'est pas du tout adéquate, à cause des variations de la tension de sortie dus essentiellement aux variations du courant de charge et de la tension secteur.

Il est facile de construire des alimentations stabilisées en utilisant une contre réaction négative, pour comparer la tension continue de sortie avec une tension de référence stable.

Les constructeurs de composants électroniques proposent des régulateurs intégrés à trois bornes, très répandus, tels que la série 78XX positive et la 79XX négative. 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 (1)

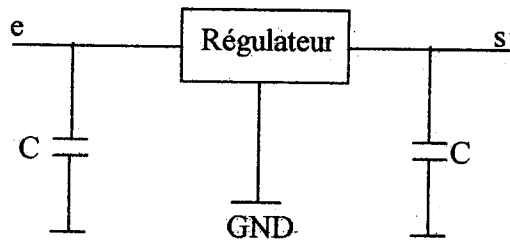


Figure 1

Un condensateur C1 de découplage peut être ajouté à la sortie du régulateur pour améliorer la caractéristique de réponse en transitoire de la tension régulée de sortie. De même une autre capacité est nécessaire en entrée, si le régulateur est à plus de quelques centimètres de l'alimentation non régulée (figure 2). il faut remarquer que la tension d'entrée doit être d'au moins 2 à 3 volts supérieur à la tension de sortie désirée, sinon la régulation n'a pas lieu.

1-le redressement et le filtrage :

Le redressement de la tension alternative à la sortie d'un transformateur, se fait par une simple diode, pour un redressement mono-alternance et par deux diodes ou un pont à quatre diodes, pour un redressement double alternance.

Pour convertir le signal modulé en une tension continue, il faut prévoir un filtre à condensateur en tête. La tension obtenue présente des ondulations, avec un taux d'ondulation variant selon l'ordre de grandeur du condensateur. Plus la capacité est grande, plus le taux d'ondulation est petit.

Malheureusement, une grande capacité implique un grand volume et un prix élevé ; il faut donc faire un compromis

2-le circuit de régulation de la source de la tension :

Etant donné que nous avons besoin d'une alimentation stabilisée de 5v et 9v, nous utiliserons des régulateurs 7809, 7909 et 7805. Le schéma du circuit est le suivant :

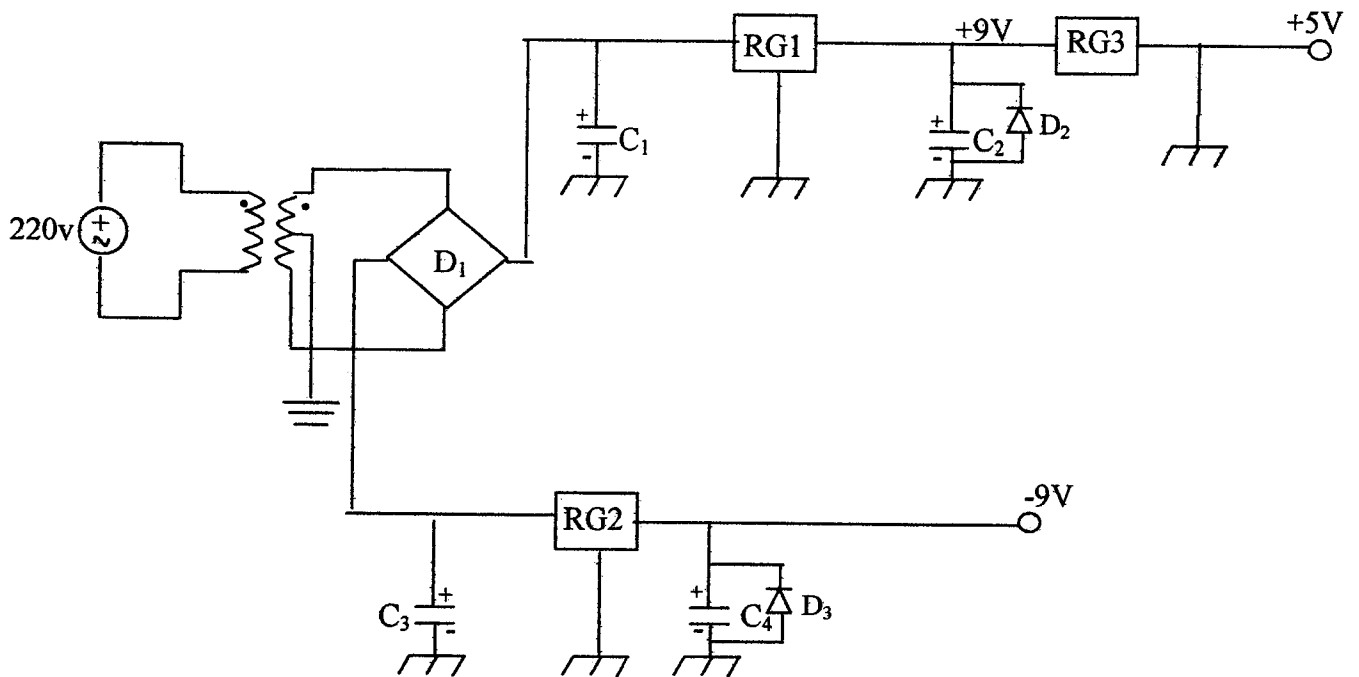


Figure 2 : circuit d'alimentation

ANNEXE (2)

Le capteur utilisé et ces caractéristiques :

C'est le premier élément de la chaîne de mesure, il a pour rôle de transformer une grandeur physique en une autre grandeur en générale électrique.

L'alimentation du 35 peut être de 5v à 24v. la tension de sortie est proportionnelle à la température du milieu dans lequel est plongé ce capteur.

Le LM35 est un capteur de température semi-conducteur donnant une précision de $10\text{mV}/^\circ\text{C}$, il est caractérisé par:

- La sortie est proportionnelle au $^\circ\text{C}$.
- L'intervalle de température varie de -40°C à 110°C .
- Impédance de sortie 0.1Ω par 1mA .
- Boîtier standard TO.92.
- Le courant minimal d'entrée ($60\mu\text{A}$).
- $V_{\text{sortie}}=10\text{mV}/^\circ\text{C}$ (linéaire de 2°C à 40°C).

ANNEXE (3)

Circuit d'affichage numérique :

Depuis l'apparition de lecture numérique et des circuits intégrés qui ont permis la réalisation de nombreux appareils de très haute précision à fonction multiple et avec des dimensions réduites, ce sont des utilisateurs qui préfèrent cette technique de mesure et d'affichage à la méthode analogique traditionnelle.

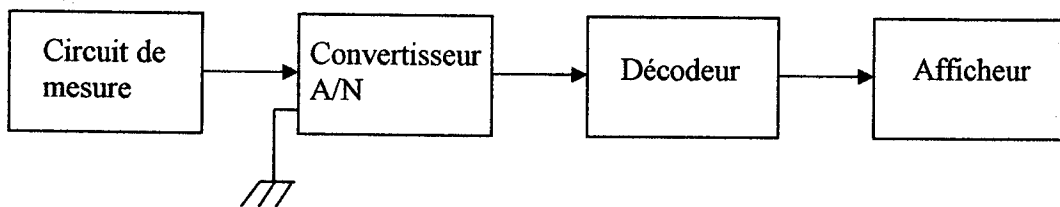


Figure 1 : Schémas synoptique de circuit d'affichage

1. Définition de La conversion analogique numérique :

Un convertisseur analogique numérique (C.A.N) est un dispositif qui reçoit un signal analogique « A » et le transforme en un signal numérique « N » avec précision et résolution en le comparant à une tension de référence (V_{ref}).

Pour un C.A.N sans erreur, le signal de sortie « N » est relié au signal d'entrée « A » par la relation

suivante :

$$N = \frac{A}{V_{ref}}$$

2. différents types de convertisseur :

Pour cela en citer quelques types de conversion :

- conversion à simple rampe.
- Conversion à double rampe.
- Conversion à transfert de charge.
- Conversion à tension fréquence.

Nous avons choisi dans notre étude la conversion à double rampe.

3. conversion à double rampe :

Il est possible d'augmenter notablement la précision du système simple rampe, on effectuant une double intégration, on obtient de plus une bonne rejection de signaux parasites, en particuliers de ceux provenant du secteur.

Schéma de principe est représenté sur les figures (3-4-5-6) avec le diagramme de temps.

- au temps $t=t_0$ l'interrupteur 1 est positionné sur l'entrée V_x à travers R_1 et cette tension charge le condensateur au même instant t_0 le diviseur de fréquence entre en action pendant un temps t_r constant de l'appareil et s'arrête à l'instant t_1 . a cet instant, la commande séquence fait basculer l'interrupteur 1 sur la tension de référence V_{ref} de signe inverse à la tension d'entrée et ouvre la porte du compteur d'impulsion qui commence à compter les impulsions délivrées par l'horloge.
- Le courant de charge s'inverse et la tension décroît jusqu'à la valeur initial E_0 ; pour laquelle le comparateur bascule et arrête le comptage à l'instant t_2 .
- Le nombre « N »affiché est proportionnel au temps de comptage t_2-t_1 et la fréquence d'horloge.
- Dans notre montage, on a utilisé la méthode de conversion à double rampe et pour cela le choix de notre circuit intégré c'est porté sur le CA3662.

4. caractéristiques d'un convertisseur AN :

a. fonction de transfert :

Elle peut être définie comme suite :

Les tensions d'entrées nominales sont données par l'égalité suivante :

$$E_{nom} = V_{ref} \left(\frac{B_1}{2} + \frac{B_2}{4} + \dots + \frac{B_n}{2^n} \right)$$

b. La résolution :

Elle est définie comme étant la plus petite variation de la tension qu'en peut coder et indiquer le C.A.N ; elle est donnée par le nombre de bits fournis par le convertisseur.

c. Temps de conversion :

C'est le temps de conversion nécessaire pour obtenir en sortie d'un signal numérique correspondant au signal d'entrée analogique.

d. Précision :

La précision d'un convertisseur A/N se définit comme étant l'écart existant entre la valeur théorique E_{nom} fournissant certain mot N et la valeur réelle A fournissant.

e. Rejection des signaux de perturbation :

Certains convertisseurs ont la particularité de diminuer ou même d'éliminer l'influence de certains signaux de perturbation.

5. Etude sur le convertisseur :

Pour notre montage, on a choisi un convertisseur A/N à double rampe qui est le circuit intégré CA3162 car ce convertisseur a une bonne précision, peu sensible au bruit et un temps de conversion assez court (de 5 à 100ms).

a. Brochage:

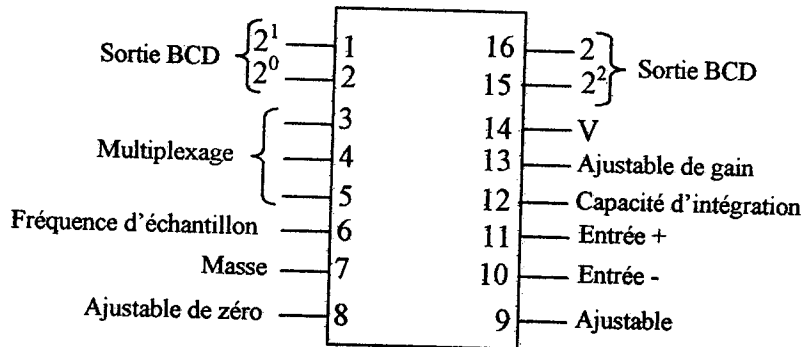


Figure2 : Brochage de CA3162.

b. Description du CA3162 :

Ce lui-ci comprend, dans un boîtier DIL à 16 broches, tous les éléments nécessaires à la conversion A/N le rampe.

Ce circuit comprend également une référence interne ultra stable à barrière de potentiel, une horloge et une sortie BCD à trois digits multiplexés ; il permet en plus de fixer le taux de conversion à deux valeurs différentes.

La précision obtenue est meilleur que 0.1, plus au moins un digit, la linéarité est meilleur qu'un demi digit et la stabilité en température est de 0.005mV/°C, la consommation totale du circuit est inférieur à 85 mW.

Le CA3162 est associé à un décodeur CA3161 qui effectue le décodage 7 segments, deux potentiomètres sont nécessaires pour l'ajustage, transistors amplifiant les 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 -99V à +999mV, la polarité étant indiquée automatiquement. Le déplacement de la valeur maximale est indiqué par EEE pour une tension d'entrée supérieur à +999mV est de même si elle est inférieur à -99mV.

c. Principe de fonctionnement de CA3162 :

La partie analogique comprend un intégrateur qui est le cœur du système.

Un convertisseur tension-courant et un générateur de 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 (11) et (10) sera convertie en courant et appliquée à l'intérieur, le condensateur charge linéairement avec un courant constant.

La tension de sortie de l'intégrateur est donnée par :

$$V_c = \frac{1}{RC} \int_{t_0}^u V_x dt = \frac{V_x}{R_c} t_1 = \frac{V_x}{R_c} NT$$

N : c'est le nombre des impulsions pendant une période.

T : période.

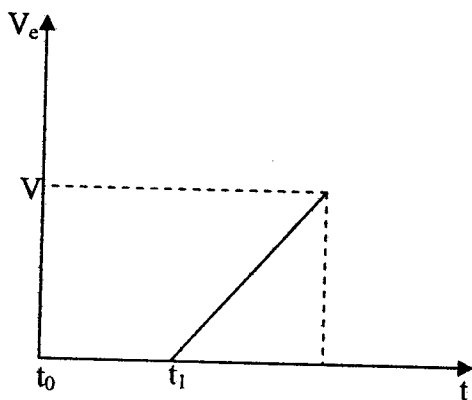


Figure 3

Ces dents de scie appliquées à l'entrée de comparateur, seront transmises au compteur.

Lorsque le compteur atteint sa capacité maximal, l'entrée de l'intégrateur est commutée sur une autre source de courant de référence ce qui ramène le condensateur à se décharge linéairement.

$$V_d = \left(\frac{V_{ref}}{RC} \right) t_2$$

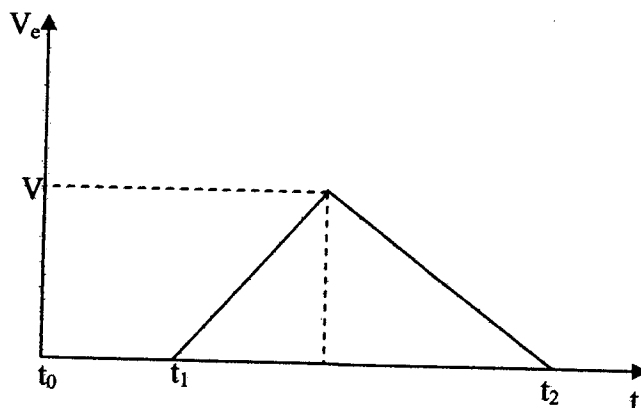


Figure 4

Lorsque le compteur enregistre ces impulsions, lors de cette décroissante le comparateur détecte à zéro et à cet instant, le compteur s'arrête et le compte sera multiplixés vers la sortie BCD.

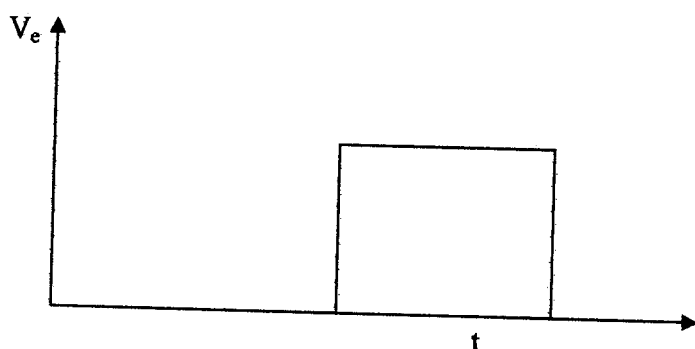


Figure 5

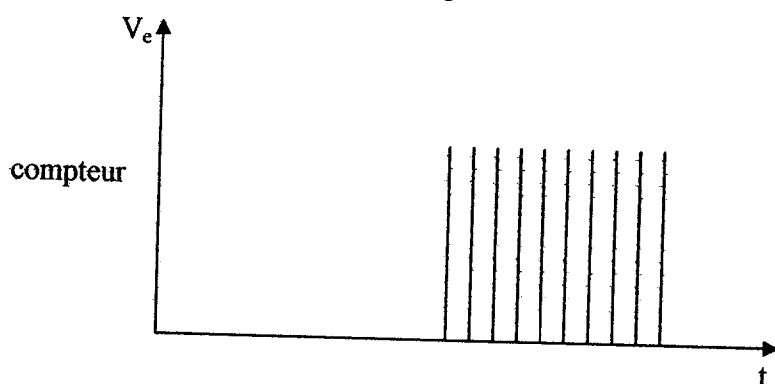


Figure 6

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

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

6. Etude sur le décodage et l'affichage :

Le résultat de comptage est recueilli à la sortie du convertisseur A/N à travers quatre sorties information BCD sera décodé à l'aide d'un décodeur CA3161.

Le circuit intégré CA3161 est un décodeur BCD sept segments.

a. Brochage du décodeur :

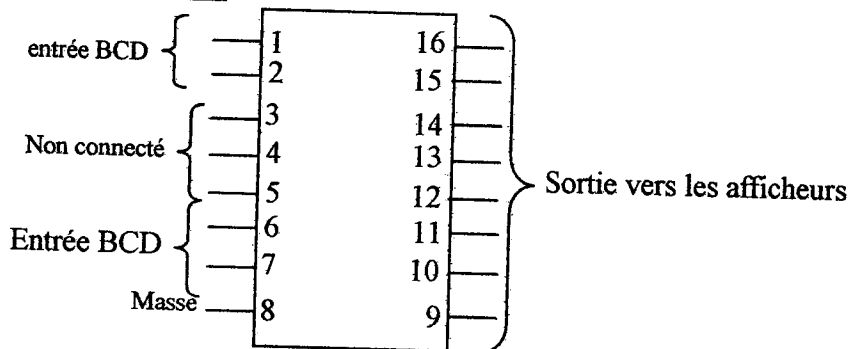


Figure 7

b. Caractéristiques du CA3161 :

-la tension d'entrée +5,5 v.

-La tension de sortie 7V (arrêt).

-La tension de sortie +10V (en marche).

c. Description et brochage des afficheurs :

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

-Chaque segment est utilisé pour afficher une partie de chiffre.

-Chaque afficheur est alimenté par un transistor PNP (2N2904) qui se débloque pour fournir à la sortie une courant qui attaque les segments des afficheurs.

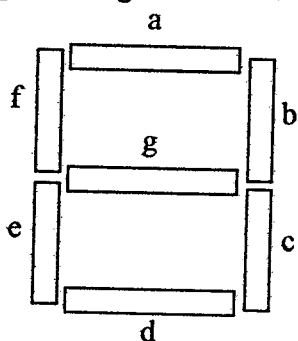


Figure 8 : montage d'afficheur.

d. Schéma du principe du circuit d'affichage :

-afficheur à anode commune.

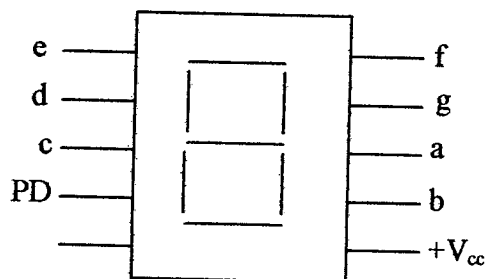


Figure 9

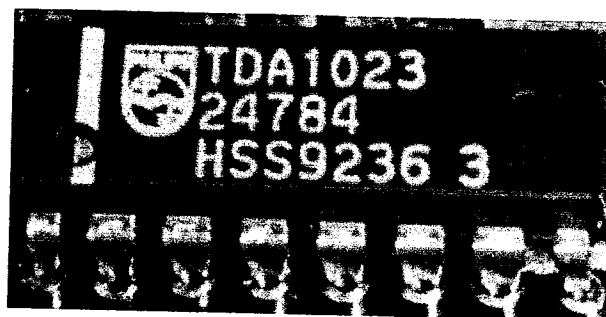
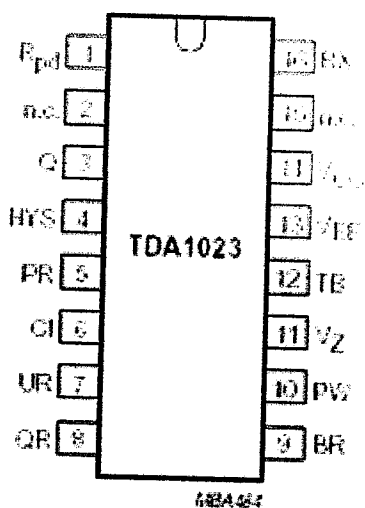
ANNEXE (4)

DESCRIPTION GÉNÉRALE DE TDA 1023 :

Le TDA1023 est un circuit intégré bipolaire pour le contrôle triacs dans un temps ou un mode proportionnel de mise à feu d'éclat. Laisser commande de température précise d'équipement de chauffage il est particulièrement convenu à la commande des réchauffeurs de panneau. Il produit des impulsions de déclenchement positif allantes mais satisfait à règlements concernant la déformation de forme d'onde de forces et le rf interférence.

Ce circuit intégré est une commande de triac possédant les perfectionnements suivants:

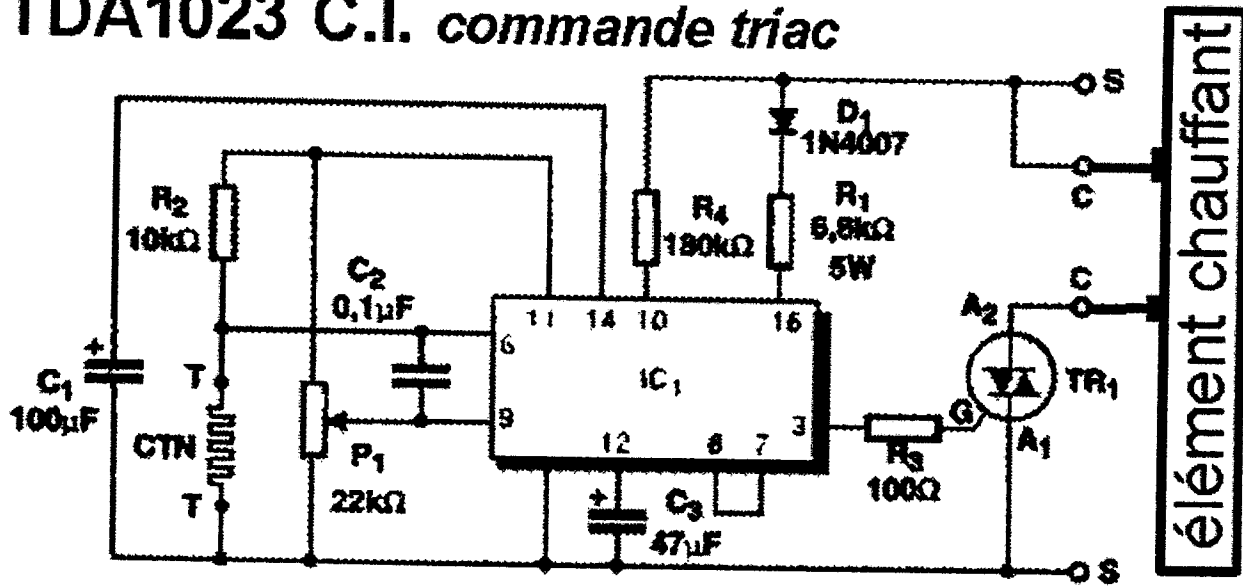
- Prévu directement pour le 220V alternatif soit à travers une résistance de puissance, soit avec un condensateur série et une résistance.
- Il découpe la sinusoïde du secteur en tranches. Le découpage se fait au passage par zéro (zero cross center) sans parasites.
- L'hystérésis du comparateur est ajustable. La sensibilité est de l'ordre du 0,5°C.
- On peut régler la pleine charge du radiateur dans une plage comprise entre 1 et 5°C.
- La durée des pulsations de courant est réglable.



Le circuit proposé pour la régulation est :

Chauffage électrique

TDA1023 C.I. commande triac



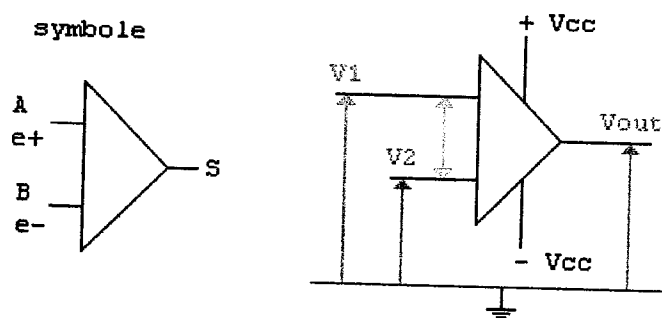
ANNEXE (5)

L'amplificateur opérationnel (AOP)

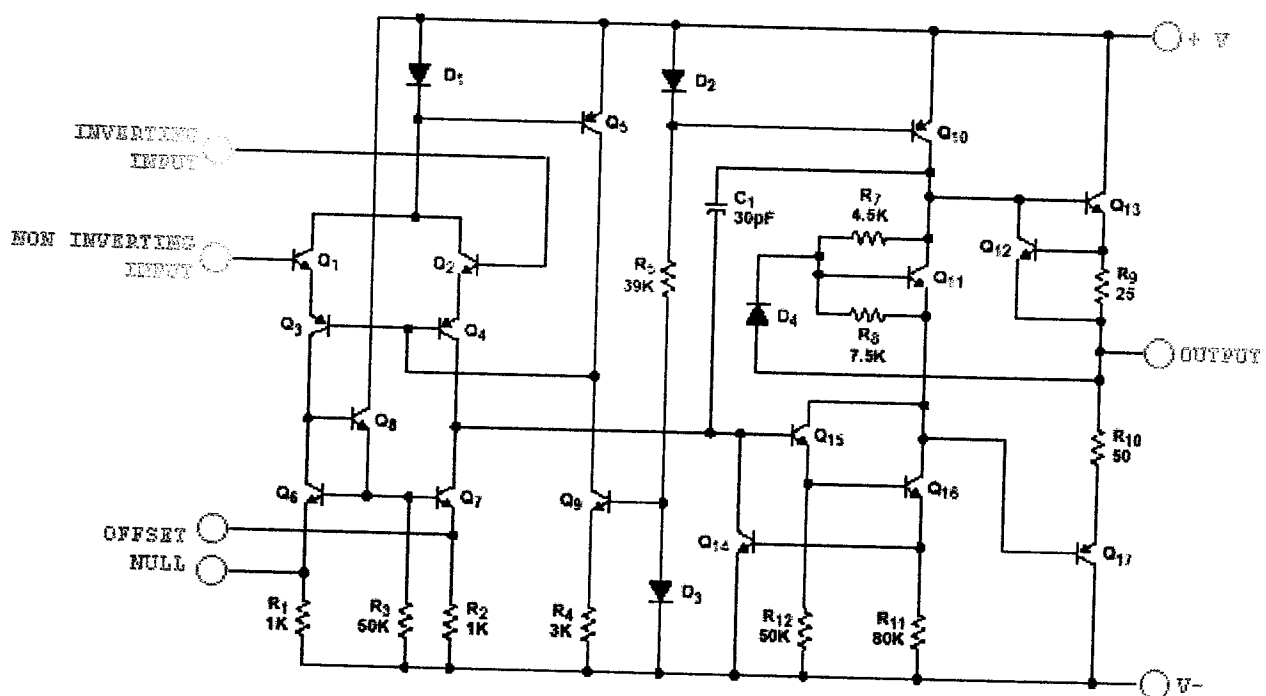
Un **amplificateur opérationnel** (AOP, ou *OpAmp* en anglais) est un **circuit intégré** dont la fonction de base est, comme son nom le suggère, **l'amplification**. Il est en outre "opérationnel" en ce sens qu'il permet de réaliser des fonctions de type "arithmétique" (inversion, addition, soustraction...).

Un AOP est, à la base, un système amplificateur différentiel. Amplificateur et différentiel car il amplifie la différence des tensions appliquées sur ses deux entrées, souvent notées $e+$ (entrée dite "non inverseuse") et $e-$ (entrée dite "inverseuse"). Le facteur d'amplification est appelé le gain.

On aura donc un composant comportant deux entrées et une sortie. En règle générale, les AOP requièrent une alimentation symétrique (positive et négative), mais certains modèles acceptent une alimentation positive simple.



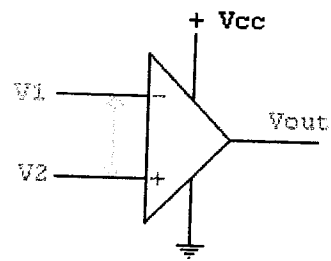
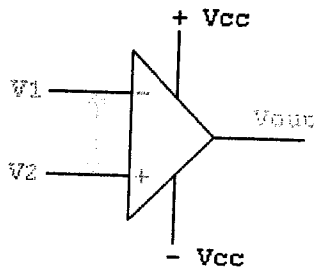
Voici, à titre documentaire, le schéma équivalent d'un AOP très répandu, le $\mu A741$. Il s'agit d'un modèle déjà ancien et parmi les plus simples. On observera le montage particulier des transistors bipolaires en entrée (*inverting* et *non inverting input* pour "entrée inverseuse" et "non inverseuse"):



Principe de fonctionnement d'un AOP :

Voyons concrètement ce qui se passe lorsque l'on applique des tensions continues $V1$ et $V2$ aux deux entrées d'un AOP.

La figure ci-contre reprend les deux cas possibles d'alimentation de l'AOP, symétrique (à gauche) ou simplement positive (à droite).



L'AOP fonctionne, en fait, comme un **comparateur**: il compare $V1$ et $V2$, et de cette comparaison dépendra l'état, haut ou bas, de sa sortie (V_{out}). Ce que nous pouvons résumer à l'aide du tableau suivant:

	Alimentation symétrique	Alimentation non symétrique
$V2 > V1$	$V_{out} = \text{presque } +V_{cc}$	$V_{out} = \text{presque } +V_{cc}$
$V1 > V2$	$V_{out} = \text{presque } -V_{cc}$	$V_{out} = \text{presque } 0$

En d'autres termes, on aura une sortie **haute** (proche de $+V_{cc}$) ou **basse** (proche de 0 ou de $-V_{cc}$).

On notera qu'il existe toujours une petite différence entre la tension disponible en sortie (*output voltage swing*, en anglais) et la tension d'alimentation. Cette différence fait partie des caractéristiques propres à chaque modèle d'AOP, mais elle reste en général très faible, voire quasi négligeable.

Caractéristiques générales des AOP :

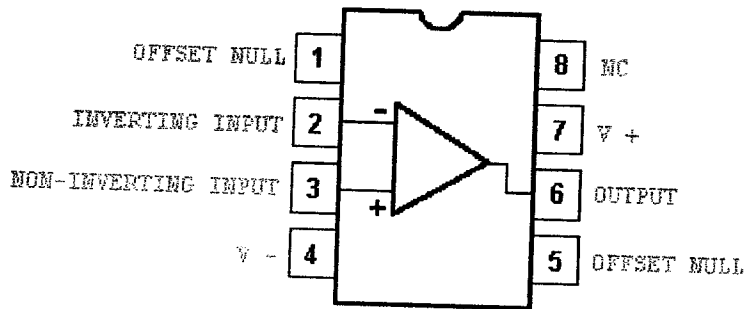
Avant de décrypter une *data sheet*, voyons quelles sont les caractéristiques générales communes à la plupart des AOP disponibles:

- technologie bipolaire ($\mu A741...$), BI-FET (LF353...), CMOS...
- gain en boucle ouverte de l'ordre de 100.000 (souvent exprimé en décibels)
- impédance d'entrée très grande (de l'ordre de 2 MW pour un $\mu A741$, de 10^6 MW pour un LF353...)
- impédance de sortie très faible (de l'ordre de 75 ohms pour un $\mu A741$)
- courant disponible de l'ordre de 25 mA
- bande passante du continu à 1 MHz (LM324), 2 MHz ($\mu A741$), 4 MHz (LF353)...

Ajoutons à cela que la plupart des AOP, notamment le LM324, acceptent volontiers une alimentation non symétrique.

Caractéristiques de $\mu A 741$:

Prenons pour exemple un AOP très courant (et très bon marché), le $\mu A741$. Voici son brochage:



Le $\mu A741$, en boîtier DIL 8. Ce boîtier comporte un seul AOP; d'autres modèles peuvent en comporter 2 (*dual*) ou même 4 (*quad*). La broche 8 n'est pas utilisée (NC pour *not connected*).

Voici maintenant un extrait de la fiche technique du $\mu A741$:

DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS

SYMBOL	PARAMETER	TEST CONDITIONS	Min	Typ	Max	UNIT
V_S	Supply voltage				+/- 18	V
V_{IN}	Differential input voltage				+/- 30	V
V_{OS}	Offset voltage	$R_S = 10\text{ k}$		2,0	6,0	mV
I_{OS}	Offset current			20	200	nA
I_{BIAS}	Input bias current			80	500	nA
V_{out}	Output voltage swing	$R_L = 10\text{ k}$		+/- 12	+/- 14	V
CMRR	Common Mode Rejection Ratio		70	90		dB
V_{IN}	Input voltage range		+/- 12	+/- 13		V
R_{IN}	Input resistance		0,3	2		MW
R_{OUT}	Output resistance			75		W

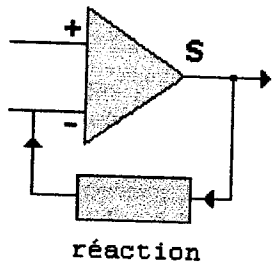
A quoi correspondent tous ces paramètres?

V_S et V_{IN} ne nous sont pas inconnus: il s'agit de la tension (symétrique) d'alimentation du c.i. et de la tension différentielle maximale. Nous avons également signalé que les impédances d'entrée R_{in} (input resistance) et de sortie R_{out} (output resistance) sont respectivement très grande et très petite, ce que confirment les valeurs fournies.

Modèle	CMMR (valeur typique)
LM324	70 dB
μ A741C, CA1458	90 dB
LF353	100 dB

La contre-réaction :

On vient de le voir, le gain de l'AOP diminue quand la fréquence augmente. Si on désire augmenter la bande passante, il faut donc (hélas) réduire le gain. C'est donnant-donnant...



On y parvient grâce à la technique de la **contre-réaction**, qui consiste à réinjecter une fraction de la tension de sortie V_{out} sur l'entrée inverseuse e^- , comme le montre la figure ci-contre.

On a alors un retour du signal en opposition de phase par rapport au signal d'entrée. Le signal de sortie viendra se soustraire au signal d'entrée de manière à faire travailler l'amplificateur dans sa partie linéaire.

En faisant varier le ratio de la tension réinjectée par rapport à la tension de sortie, on peut aisément contrôler le gain de l'AOP.

Lorsqu'on utilise un AOP avec une contre-réaction, on dit qu'il fonctionne en **boucle fermée**.

Récapitulatif

Ce qu'il faut retenir, en bref:

- un AOP amplifie la différence des tensions appliquées sur ses deux entrées, l'une étant dite "non inverseuse" et l'autre, "inverseuse"
- l'alimentation est en principe symétrique, mais une alimentation positive est souvent possible
- le gain (facteur d'amplification) en boucle ouverte est faramineux: souvent supérieur à 100.000
- l'impédance d'entrée est très grande, l'impédance de sortie très petite
- le gain diminue à mesure que la fréquence augmente; la bande passante va en général du continu à 1 ou 2 MHz pour les AOP en technologie bipolaire
- le courant maximal disponible atteint environ de 25 mA



LM35/LM35A/LM35C/LM35CA/LM35D 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 packaged 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-202 package.

Features

- Calibrated directly in ° 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, 0.06°C in still air
- Nonlinearity only $\pm 1/4^\circ\text{C}$ typical
- Low impedance output, $0.1\ \Omega$ for 1 mA load

Connection Diagrams

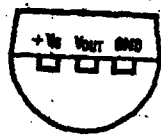
TO-46
Metal Can Package*



BOTTOM VIEW

TL/H/5516-1

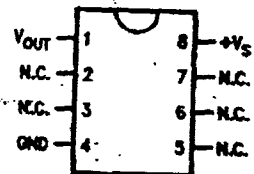
TO-92
Plastic Package



BOTTOM VIEW

TL/H/5516-2

SO-8
Small Outline Molded Package



Top View

N.C. = No Connection

TL/H/5516-21

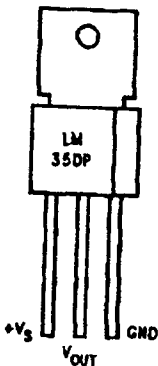
*Case is connected to negative pin (GND)

Order Number LM35H, LM35AH,
LM35CH, LM35CAH or LM35DH
See NS Package Number H03H

Order Number LM35CZ,
LM35CAZ or LM35DZ
See NS Package Number Z03A

Order Number LM35DM
See NS Package Number M08A

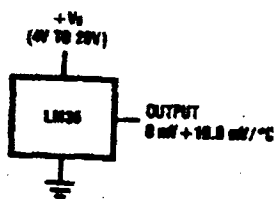
TO-202
Plastic Package



TL/H/5516-24

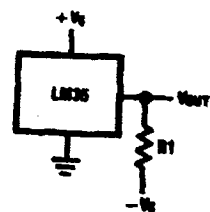
Order Number LM35DP
See NS Package Number P03A

Typical Applications



TL/H/5516-3

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



TL/H/5516-4

Choose $R_1 = -V_S/50\ \mu\text{A}$

$V_{\text{out}} = +1,500\ \text{mV}$ 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/LM35A/LM35C/LM35CA/LM35D

Absolute Maximum Ratings (Note 10)

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

Supply Voltage	+35V to -0.2V
Output Voltage	+6V to -1.0V
Output Current	10 mA
Storage Temp., TO-46 Package,	-80°C to +180°C
TO-92 Package,	-80°C to +150°C
SO-8 Package,	-85°C to +150°C
TO-202 Package,	-85°C to +150°C

Lead Temp.:

TO-46 Package, (Soldering, 10 seconds)	300°C
TO-92 Package, (Soldering, 10 seconds)	260°C
TO-202 Package, (Soldering, 10 seconds)	+230°C

SO Package (Note 12):

Vapor Phase (60 seconds)	215°C
Infrared (15 seconds)	220°C
ESD Susceptibility (Note 11)	2500V
Specified Operating Temperature Range: T _{MIN} to T _{MAX}	
(Note 2)	
LM35, LM35A	-55°C to +150°C
LM35C, LM35CA	-40°C to +110°C
LM35D	0°C to +100°C

Electrical Characteristics (Note 1) (Note 6)

Parameter	Conditions	LM35A			LM35CA			Units (Max.)
		Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	
Accuracy (Note 7)	T _A = +25°C	±0.2	±0.5		±0.2	±0.5		°C
	T _A = -10°C	±0.3			±0.3			°C
	T _A = T _{MAX}	±0.4	±1.0		±0.4	±1.0		°C
	T _A = T _{MIN}	±0.4	±1.0		±0.4		±1.5	°C
Nonlinearity (Note 8)	T _{MIN} ≤ T _A ≤ T _{MAX}	±0.18		±0.38	±0.18		±0.2	°C
Sensor Gain (Average Slope)	T _{MIN} ≤ T _A ≤ T _{MAX}	+10.0	+9.9, +10.1		+10.0		+9.9, +10.1	mV/°C
Load Regulation (Note 3) 0 ≤ I _L ≤ 1 mA	T _A = +25°C	±0.4	±1.0		±0.4	±1.0		mV/mA
	T _{MIN} ≤ T _A ≤ T _{MAX}	±0.5		±3.0	±0.5		±3.0	mV/mA
Line Regulation (Note 3)	T _A = +25°C	±0.01	±0.05		±0.01	±0.05		mV/V
	4V ≤ V _S ≤ 30V	±0.02		±0.1	±0.02		±0.1	mV/V
Quiescent Current (Note 9)	V _S = +5V, +25°C	56	67		56	67		μA
	V _S = +5V	108		131	91		114	μA
	V _S = +30V, +25°C	58.2	68		58.2	68		μA
	V _S = +30V	108.5		133	91.8		116	μA
Change of Quiescent Current (Note 3)	4V ≤ V _S ≤ 30V, +25°C	0.2	1.0		0.2	1.0		μA
	4V ≤ V _S ≤ 30V	0.5		2.0	0.5		2.0	μA
Temperature Coefficient of Quiescent Current		+0.38		+0.5	+0.38		+0.5	μA/°C
Minimum Temperature for Rated Accuracy	In circuit of Figure 1, I _L = 0	+1.5		+2.0	+1.5		+2.0	°C
Long Term Stability	T _J = T _{MAX} , for 1000 hours	±0.08			±0.08			°C

Note 1: Unless otherwise noted, these specifications apply: -55°C ≤ T_J ≤ +150°C for the LM35 and LM35A; -40°C ≤ T_J ≤ +110°C for the LM35C and LM35CA; and 0°C ≤ T_J ≤ +100°C for the LM35D. V_S = +5Vdc and I_{LOAD} = 80 μA. In the circuit of Figure 2. These specifications also apply from +2°C to T_{MAX} in the circuit of Figure 1. Specifications in **boldface** apply over the full rated temperature range.

Note 2: Thermal resistance of the TO-46 package is 400°C/W, junction to ambient, and 24°C/W junction to case. Thermal resistance of the TO-92 package is 180°C/W junction to ambient. Thermal resistance of the small outline molded package is 220°C/W junction to ambient. Thermal resistance of the TO-202 package is 65°C/W junction to ambient. For additional thermal resistance information see table in the Applications section.

Electrical Characteristics (Note 1) (Note 6) (Continued)

Parameter	Conditions	LM35			LM35C, LM35D			Units (Max.)
		Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	
Accuracy, LM35, LM35C (Note 7)	$T_A = +25^\circ\text{C}$	± 0.4	± 1.0		± 0.4	± 1.0		$^\circ\text{C}$
	$T_A = -10^\circ\text{C}$	± 0.5			± 0.5		± 1.5	$^\circ\text{C}$
	$T_A = T_{\text{MAX}}$	± 0.8	± 1.5		± 0.8		± 1.5	$^\circ\text{C}$
	$T_A = T_{\text{MIN}}$	± 0.8		± 1.5	± 0.8		± 2.0	$^\circ\text{C}$
Accuracy, LM35D (Note 7)	$T_A = +25^\circ\text{C}$				± 0.6	± 1.5		$^\circ\text{C}$
	$T_A = T_{\text{MAX}}$				± 0.9		± 2.0	$^\circ\text{C}$
	$T_A = T_{\text{MIN}}$				± 0.9		± 2.0	$^\circ\text{C}$
Nonlinearity (Note 8)	$T_{\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{\text{MAX}}$	± 0.3		± 0.5	± 0.2		± 0.5	$^\circ\text{C}$
Sensor Gain (Average Slope)	$T_{\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{\text{MAX}}$	+ 10.0	+ 9.8, + 10.2		+ 10.0		+ 9.8, + 10.2	mV/ $^\circ\text{C}$
Load Regulation (Note 3) $0 \leq I_L \leq 1 \text{ mA}$	$T_A = +25^\circ\text{C}$ $T_{\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{\text{MAX}}$	± 0.4 ± 0.5	± 2.0	± 5.0	± 0.4 ± 0.5	± 2.0	± 5.0	mV/mA mV/mA
Line Regulation (Note 3)	$T_A = +25^\circ\text{C}$ $4\text{V} \leq V_S \leq 30\text{V}$	± 0.01 ± 0.02	± 0.1	± 0.2	± 0.01 ± 0.02	± 0.1	± 0.2	mV/V mV/V
Quiescent Current (Note 9)	$V_S = +5\text{V}, +25^\circ\text{C}$	56	80		56	80		μA
	$V_S = +5\text{V}$	105		158	91		138	μA
	$V_S = +30\text{V}, +25^\circ\text{C}$	56.2	82		56.2	82		μA
	$V_S = +30\text{V}$	105.5		161	91.5		141	μA
Change of Quiescent Current (Note 3)	$4\text{V} \leq V_S \leq 30\text{V}, +25^\circ\text{C}$	0.2	2.0		0.2	2.0		μA
	$4\text{V} \leq V_S \leq 30\text{V}$	0.5		3.0	0.5		3.0	μA
Temperature Coefficient of Quiescent Current		+ 0.39		+ 0.7	+ 0.39		+ 0.7	$\mu\text{A}/^\circ\text{C}$
Minimum Temperature for Rated Accuracy	In circuit of Figure 1, $I_L = 0$	+ 1.5		+ 2.0	+ 1.5		+ 2.0	$^\circ\text{C}$
Long Term Stability	$T_J = T_{\text{MAX}}$, for 1000 hours	± 0.08			± 0.08			$^\circ\text{C}$

Note 3: Regulation is measured at constant junction temperature, using pulse testing with a low duty cycle. Changes in output due to heating effects can be computed by multiplying the internal dissipation by the thermal resistance.

Note 4: Tested Limits are guaranteed and 100% tested in production.

Note 5: Design Limits are guaranteed (but not 100% production tested) over the indicated temperature and supply voltage ranges. These limits are not used to calculate outgoing quality levels.

Note 6: Specifications in boldface apply over the full rated temperature range.

Note 7: Accuracy is defined as the error between the output voltage and $10\text{mV}/^\circ\text{C}$ times the device's case temperature, at specified conditions of voltage, current, and temperature (expressed in $^\circ\text{C}$).

Note 8: Nonlinearity is defined as the deviation of the output-voltage-versus-temperature curve from the best-fit straight line, over the device's rated temperature range.

Note 9: Quiescent current is defined in the circuit of Figure 1.

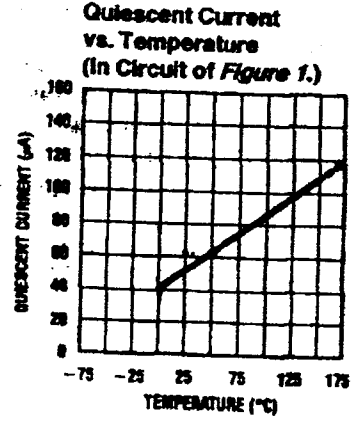
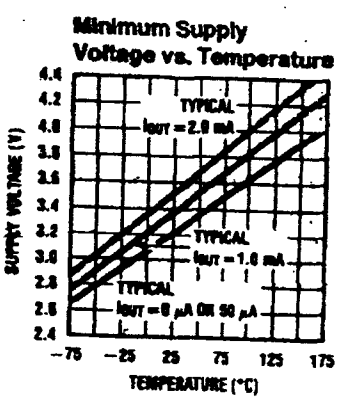
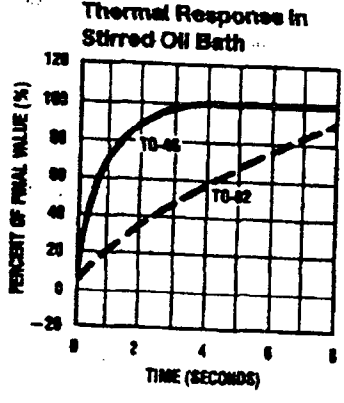
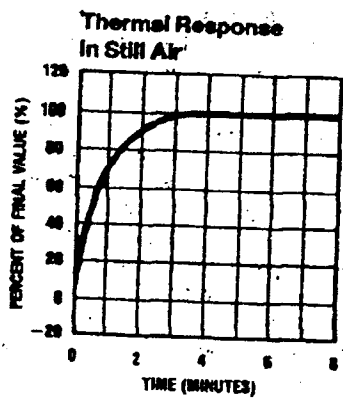
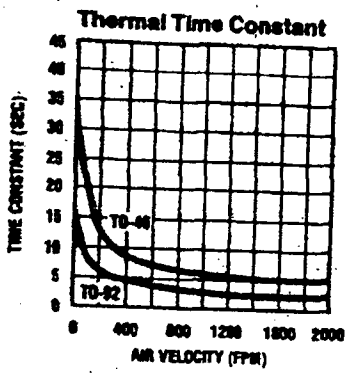
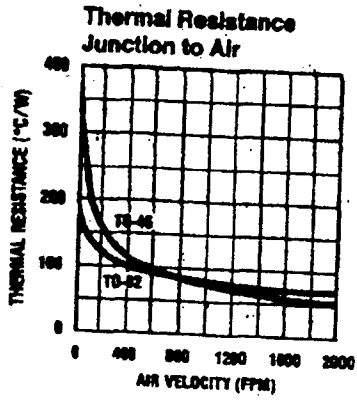
Note 10: Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. DC and AC electrical specifications do not apply when operating the device beyond its rated operating conditions. See Note 1.

Note 11: Human body model, 100 pF discharged through a 1.5 k Ω resistor.

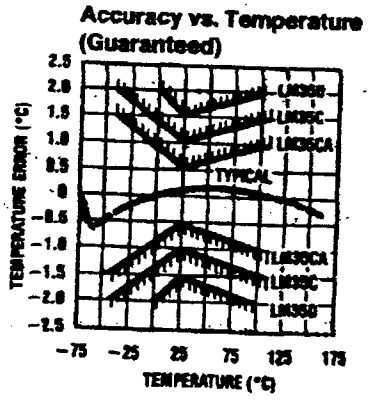
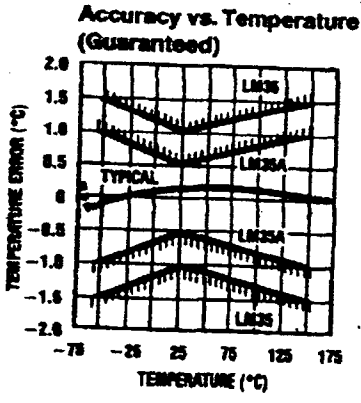
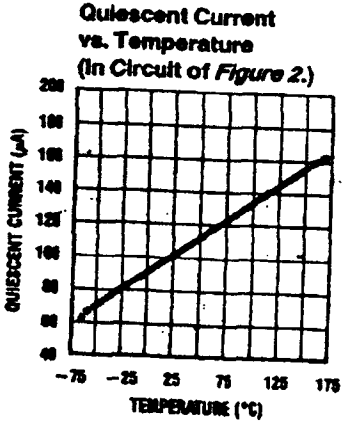
Note 12: See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" or the section titled "Surface Mount" found in a current National Semiconductor Linear Data Book for other methods of soldering surface mount devices.

Typical Performance Characteristics

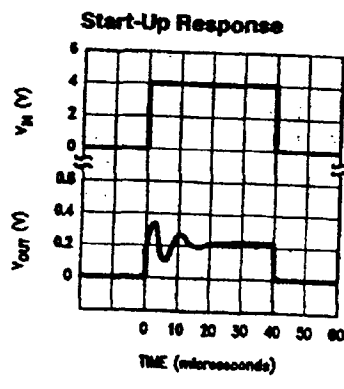
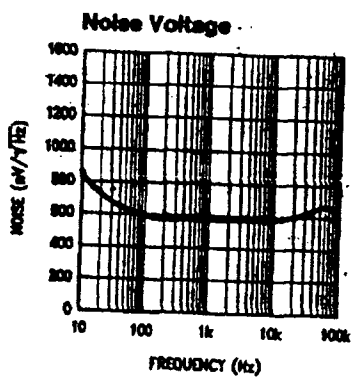
LM35/LM35A/LM35C/LM35CA/LM35D



TL/H/5516-17



TL/H/5516-18



TL/H/5516-22

Applications

The LM35 can be applied easily in the same way as other integrated-circuit temperature sensors. It can be glued or cemented to a surface and its temperature will be within about 0.01°C of the surface temperature.

This presumes that the ambient air temperature is almost the same as the surface temperature; if the air temperature were much higher or lower than the surface temperature, the actual temperature of the LM35 die would be at an intermediate temperature between the surface temperature and the air temperature. This is especially true for the TO-92 plastic package, where the copper leads are the principal thermal path to carry heat into the device, so its temperature might be closer to the air temperature than to the surface temperature.

To minimize this problem, be sure that the wiring to the LM35, as it leaves the device, is held at the same temperature as the surface of interest. The easiest way to do this is to cover up these wires with a bead of epoxy which will insure that the leads and wires are all at the same temperature as the surface, and that the LM35 die's temperature will not be affected by the air temperature.

The TO-46 metal package can also be soldered to a metal surface or pipe without damage. Of course, in that case the V- terminal of the circuit will be grounded to that metal. Alternatively, the LM35 can be mounted inside a sealed-end metal tube, and can then be dipped into a bath or screwed into a threaded hole in a tank. As with any IC, the LM35 and accompanying wiring and circuits must be kept insulated and dry, to avoid leakage and corrosion. This is especially true if the circuit may operate at cold temperatures where condensation can occur. Printed-circuit coatings and varnishes such as Humiseal and epoxy paints or dips are often used to insure that moisture cannot corrode the LM35 or its connections.

These devices are sometimes soldered to a small lightweight heat fin, to decrease the thermal time constant and speed up the response in slowly-moving air. On the other hand, a small thermal mass may be added to the sensor, to give the steadiest reading despite small deviations in the air temperature.

Temperature Rise of LM35 Due To Self-heating (Thermal Resistance)

	TO-46, no heat sink	TO-46, small heat fin*	TO-92, no heat sink	TO-92, small heat fin**	SO-8 no heat sink	SO-8 small heat fin**	TO-302 no heat sink	TO-302** small heat fin
Still air	400°C/W	100°C/W	180°C/W	140°C/W	220°C/W	110°C/W	65°C/W	60°C/W
Moving air	100°C/W	40°C/W	90°C/W	70°C/W	105°C/W	90°C/W	25°C/W	40°C/W
Still oil	100°C/W	40°C/W	90°C/W	70°C/W	105°C/W	90°C/W	25°C/W	40°C/W
Stirred oil (Clamped to metal, infinite heat sink)	50°C/W	30°C/W	45°C/W	40°C/W	55°C/W	40°C/W	23°C/W	40°C/W

* Wakefield type 201, or 1" disc of 0.020" sheet brass, soldered to case, or similar.

** TO-92 and SO-8 packages glued and leads soldered to 1" square of 1/16" printed circuit board with 2 oz. foil or similar.

Typical Applications (Continued)

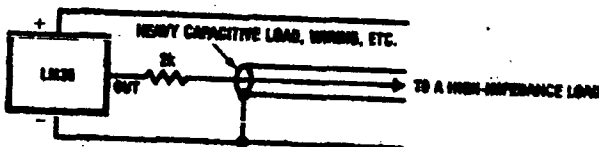


FIGURE 3. LM35 with Decoupling from Capacitive Load

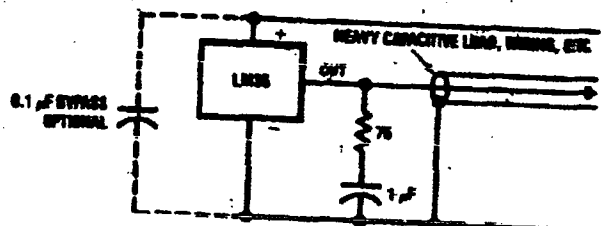


FIGURE 4. LM35 with R-C Damper

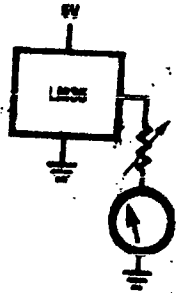
CAPACITIVE LOADS

Like most micropower circuits, the LM35 has a limited ability to drive heavy capacitive loads. The LM35 by itself is able to drive 50 pF without special precautions. If heavier loads are anticipated, it is easy to isolate or decouple the load with a resistor; see Figure 3. Or you can improve the tolerance of capacitance with a series R-C damper from output to ground; see Figure 4.

When the LM35 is applied with a 200Ω load resistor as shown in Figure 5, 6, or 8, it is relatively immune to wiring

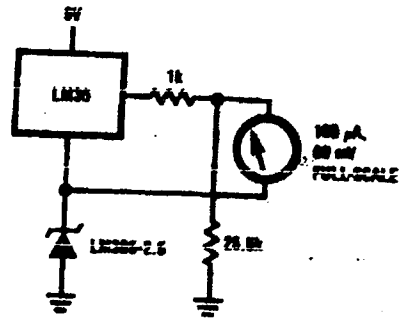
capacitance because the capacitance forms a bypass from ground to input, not on the output. However, as with any linear circuit connected to wires in a hostile environment, its performance can be affected adversely by intense electromagnetic sources such as relays, radio transmitters, motors with arcing brushes, SCR transients, etc., as its wiring can act as a receiving antenna and its internal junctions can act as rectifiers. For best results in such cases, a bypass capacitor from V_{IN} to ground and a series R-C damper such as 75Ω in series with 0.2 or 1 μF from output to ground are often useful. These are shown in Figures 13, 14, and 16.

Typical Applications (Continued)



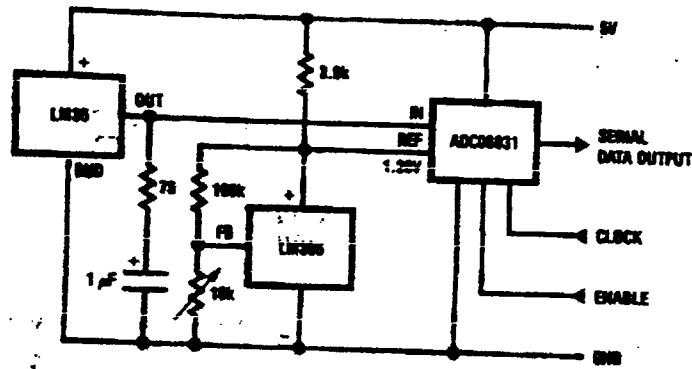
TL/H/5516-11

FIGURE 11. Centigrade Thermometer (Analog Meter)



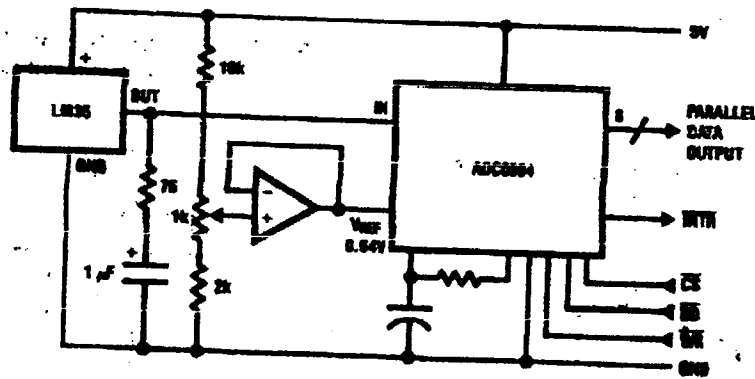
TL/H/5516-12

FIGURE 12. Expanded Scale Thermometer (50° to 80° Fahrenheit, for Example Shown)



TL/H/5516-13

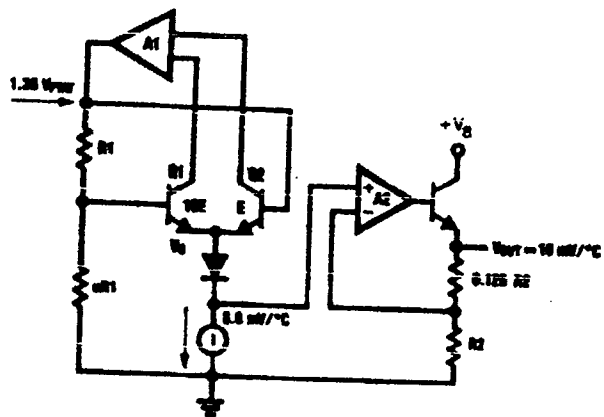
FIGURE 13. Temperature To Digital Converter (Serial Output) (+125°C Full Scale)



TL/H/5516-14

FIGURE 14. Temperature To Digital Converter (Parallel TRI-STATE® Outputs for Standard Data Bus to μ P Interface) (125°C Full Scale)

Block Diagram



TL/H/5516-23

BIBLIOGRAPHIES

- [1] GEORGE ASCH et Collaborateurs « Les capteurs en instrumentation industrielle ».
- [2] C.SERMONDADE – A.TOUSSAINT «Régulation » tome 1
- [3] Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme D.E.U.A en électronique, option communication, réalisée par Mlle MAHLIA Naima.
- [4] Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme D.E.U.A en électronique, réalisés par : ZERRIOUH Toufik et SEGHIR Rachide Abderrahmane
- [5] Internent : <http://perso.orange.fr>
- [6] Internent : <http://Kudelsko.free.fr>
- [7] Internent : <http://cybestroumpl.free.fr>
- [8] Internent : <http://automatique-Wikipédia.fr>
- [9] Internent : <http://chaleur-Wikipédia.fr>
- [10] Internent : <http://physique.fauriel.org/classe/mp+/tp/01-c.pdf>
- [11] Internent : <http://fr.Wikipédia.org/Wiki/Automatique>