

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République algérienne démocratique et populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
المركز الجامعي لعين تموشنت
Centre Universitaire Belhadj Bouchaib d'Ain-Temouchent
Institut des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Electrique



Projet de fin d'études
Pour l'obtention du diplôme de Master en :
Domaine : SCIENCE ET TECHNOLOGIE
Filière : Electrotechnique
Spécialité : commande des systèmes électriques
Thème

Régulation PID, étude et applications sur un système de température

Présenté Par :

- 1) Mohammed Belhadj Abderrahim
- 2) Keddar Abderrahim

Devant les jurys composés de :

Dr.Flitti	C.U.B.B (Ain Temouchent)	Président
Abdi Sidi Mohammed	C.U.B.B (Ain Temouchent)	Encadrant
Me. Touhami.	C.U.B.B (Ain Temouchent)	Examineur

Année universitaire 2015/2016

Remerciement

Nous tenons à remercier ALLAH pour le courage et la patience qu'il nous a offert pour aboutir à la réalisation de ce mémoire.

✍ Nos sincères et profond remerciement pour notre encadrant Dr. Abdi Sidi Mohammed pour l'aide qu'el ont apporté pour mener ce travail.

✍ A tous les enseignants du département génie électrique.

✍ A tous ceux qui ont contribués de près ou de loin la finalisation de ce travail. Nous tenons à leur exprimer notre vive gratitude.

✍ Enfin, nos respectueuses salutations et remerciement aux membres du jury qui ont l'honneur d'apprécier et de juger ce modeste travail.

Merci

Dédicace

Avant tout, je remercie ALLAH le tout puissant de m'avoir donné le courage et la Patience pour réaliser ce travail malgré toutes les difficultés rencontrées.

Plus que tout, je dédie ce modeste travail à mes parents qui n'a jamais cessé de m'encourager et qui a fait l'impossible pour mes donner une belle vie, leur patience et leur amour ...ils sont à l'origine de tout ce que j'ai accompli de bien.

Je dédie à mes grandes mères, mes sœurs, mon frère et tous mes amis.

A mon cher binôme Keddar Abderrahim.

Tous mes collègues de la promo 2016.

Merci

Dédicace

Avant tout, je remercie ALLAH le tout puissant de m'avoir donné le courage et la Patience pour réaliser ce travail malgré toutes les difficultés rencontrées.

Je dédie ce mémoire à mes chers parents pour leur soutien, leur sacrifice, leur patience et leur amour que dieu vous garde et vous bénisse.

Ainsi à mes sœurs et à toutes mes amies.

A mon cher binôme Mohammed Belhadj Abderrahim.

Tous mes collègues de commande des systèmes électriques.

MERCI

Liste des abréviations

Liste des abréviations

PID	: Proportionnel, Intégrale et Dérivateur
Z(P)	: La perturbation
Y (P)	: La sortie de système
X(P)	: La consigne
G _s	: Gain statique
ε(P)	: Erreur statique
U(t)	: La commande
B _p	: Bande proportionnelle
K _p	: Gain ou amplification
C(P)	: La fonction de transfert de régulateur
H(P)	: La fonction de transfert de système
Δy	: La variation de la grandeur de sortie
Δx	: La variation de la grandeur d'entrée
T _i	: Constante de temps d'action intégrale
T _d	: Constante de temps d'action dérivée
TOR	: Régulateur Tout Ou Rien
T _s	: Température du système
T _c	: Température de consigne
BO	: Boucle ouvert
BF	: Boucle fermée
J-T _c	: Thermocouple
CTN	: Capteur de température avec une résistance de Coefficient Négatif
CTP	: Capteur de température avec une résistance de Coefficient Positif
C.C	: Courant Continu

Liste des figures

Liste des figures

Chapitre -I- Régulateur PID

Figure (I.1): Schéma de principe de fonctionnement d'une régulation	3
Figure(I.2) : Le système en boucle ouverte	3
Figure (I.3) : Le système en boucle fermée	3
Figure (I.4) : Schéma bloc d'un asservissement avec une perturbation	4
Figure(I.5) : Le système naturellement stable	4
Figure(I.6): Le système naturellement instable	5
Figure(I.7) : Le procédé intégrateur	5
Figure(I.8): Caractéristique statique d'un procédé	5
Figure(I.9): Temps de réponse	6
Figure(I.10): Temps de montée	6
Figure(I.11) : Dépassement	7
Figure(I.12): Représentation des bandes proportionnelles de 50% et de 200%	7
Figure(I.13): Schéma fonctionnel du régulateur P	10
Figure(I.14): Réponse indicielle du régulateur P	10
Figure(I.15): Schéma fonctionnel du régulateur PI	11
Figure(I.16): Réponse indicielle du régulateur PI	11
Figure(I.17): Schéma fonctionnel du régulateur PD	11
Figure(I.18): Réponse indicielle du régulateur PD	11
Figure(I.19) : Régulateur Tout Ou Rien (TOR)	12
Figure(I.20): Régulation à structure parallèle	13
Figure(I.21): Régulateur à structure série	14
Figure(I.22) : Régulateur à structure mixte (classique)	14
Figure(I.23) : Régulateur à structure mixte (variante)	15
Figure(I.24) : La réponse type procédé stable	15
Figure(I.25) : Courbe d'influence de T_i	16
Figure(I.26) : Courbe d'influence de T_d	16

Chapitre -II- Les applications sur un système de température

Figure(II.1) : Système de contrôle de température B3510-A	20
Figure(II.2) : donne la caractéristique $V/^\circ T$ pour le Thermocouple J-TC	21

Liste des Figures

Figures (II .3A et II.3B) : Caractéristiques Résistance Relative -Versus-Température	22
Figure(II.4) : La valeur des résistances (Ω) pour les Thermorésistantes Pt100	23
Figure(II.5) : les schémas électrique des différents amplificateurs.	23
Figure(II.6): les schémas électrique des différents blocs.	24
Figure(II.7) : fonctionnement de chauffe	25
Figure(II.8) : bloc diagramme du module de commande de température	27
Figure (II.9) : Le tracer typique des Caractéristiques des transducteurs de température et des circuits de conditionnement du signal pertinents	29
Figure (II.10) : Schéma de fonctionnelle de la commande MLI	30
Figure (II.11) : Le fonctionnent on mode OFF	30
Figure (II.12) : Le fonctionnent on mode ON/OFF	31
Figure (II.13) : Le fonctionnent on mode ON	31
Figure(II.14) : schéma de fonctionnement en boucle fermée	31
Figure(II.15) : fonctionnement du système en boucle fermés BF	32

Chapitre –III- La régulation du système

Figure (III.1) : B3510-E – Contrôleur de processus	33
Figure (III.2) : schéma de fonctionnement de régulateur P	34
Figure (III.3) : La réponse du système avec le régulateur Proportionnelle	35
Figure (III.4) : la commande on mode ON	35
Figure (III.5) : la commande on mode ON/OFF	36
Figure (III.6) : la commande on mode OFF	36
Figure (III.7) : la commande on mode ON/OFF	36
Figure (III.8) : schéma de fonctionnement de régulateur PI	37
Figure (III.9) : La réponse du système avec le régulateur PI	37
Figure (III.10) : la commande on mode ON	38
Figure (III.11) : la commande on mode ON/OFF	38
Figure (III.12) : la commande on mode OFF	39

Sommaire

Sommaire

Chapitre -I- Régulateur PID

Introduction générale	1
I.1.Introduction :	2
I.2.Généralité sur les systèmes asservis :	2
I.2.1.Définitions :	2
I.2.3.Principe de fonctionnement :	2
I.2.4.Fonctionnement en boucle ouverte :	3
I.2.5.Fonctionnement en boucle fermée :	3
I.2.6.L'influence des perturbations :	3
I.3.caractéristiques statique et dynamiques d'un procédé :	4
I.3.1.Stabilité :	4
I.3.1.1.Procédés naturellement stables :	4
I.3.1.2.Procédés naturellement instables :	4
I.3.1.3.Procédés intégrateurs :	5
I.3.2.Caractéristiques statiques d'un procédé :	5
I.3.2.1.Courbe caractéristique :	5
I.3.2.2.Gain statique :	5
I.3.2.3.Erreur statique :	5
I.3.2.4.Linéarité :	6
I.3.3.1.Temps de réponse :	6
I.3.3.Caractéristiques dynamiques d'un procédé :	6
I.3.3.2.Temps de montée :	6
I.3.3.3.Dépassement :	6
I.4.Action élémentaires (proportionnelle, intégrale, dérivée) :	7
I.4.1.Action proportionnelle :	7
I.4.1.1.Rôle et domaine d'utilisation de l'action proportionnelle :	8
I.4.2. Action intégrale :	8
I.4.2.1.Rôle et domaine d'utilisation de l'action intégrale :	8
I.4.3.Action dérivée :	9
I.4.3.1.Rôle et domaine d'utilisation de l'action dérivée :	9
I.4.4.Résumé :	9
I.5. Type de régulateurs :	10
I.5.1.Régulateur à action proportionnelle (P) :	10

I.5.2. Régulateurs à action proportionnelle-intégrale (PI) :	10
I.5.3. Régulateur à action proportionnelle-dérivée (PD) :	11
I.5.4. Régulateur Tout ou Rien (TOR) :	12
I.5.4. Régulateur à action Proportionnel-Intégral-Dérivée (PID) :	12
I.5.4.1. Principe général :	13
I.5.4.2. Différentes structures du régulateur PID :	13
I.5.2.1. Structure parallèle :	13
I.5.2.2. Structure série :	14
I.5.2.3. Structure mixte :	14
I.5.4.3. Réglage d'un PID :	15
I.5.4.4. Influence des performances sur les régulateurs PID	16
I.5.4.4.1. Influence de T_i :	16
I.5.4.4.2. Influence de T_d :	16
I.5.4.5. Loi de commande du régulateur PID :	17
I.5.4.6. Fonction de transfert du régulateur PID :	17
I.6. Méthodes De Synthèse D'un régulateur PID :	17
1.6.1. La régulation de la température :	17
1.6.2. Le régulateur de la température :	17
1.6.3. Le fonctionnement des contrôleurs de température :	17
I.7. Conclusion :	18

Chapitre -II- Les applications sur un système de température

II.1. Introduction :	19
II.2. Généralités :	19
II.3. Description du système :	19
II.3.1. Four:	20
II.3.2. Capteurs:	20
II.3.3. Amplificateur thermocouple, Amplificateur CTN, Amplificateur CTP :	23
II.3.4. Générateur de référence:	24
II.3.5. Nœud de sommation:	24
II.3.6. Amplificateur de boucle:	24
II.3.7. Contrôleur de rafale (BURST):	24
II.3.8. Pilote de puissance en courant continu:	26
II.4. Contrôle de boucle:	26
II.5. Les essais pratique :	28
II.5.1. Essais de fonctionnement du système de contrôle dans le mode TOUT OU RIEN, avec le pilote en courant continu:	28

II.5.2. Fonctionnement du système de contrôle dans le mode TOUT OU RIEN avec le pilote en courant alternatif.	28
II.5.3. Fonctionnement du système en mode proportionnel, avec pilotes en courant continu et alternatif.	28
II.5.4. Caractéristiques des transducteurs de température et des circuits de conditionnement du signal pertinents	29
II.5.5. Calibrage des circuits d'interface des transducteurs.	30
II.5.6 Essais de fonctionnement du contrôleur de rafale et le pilotage en courant continue :	30
II.5.7.Essais de fonctionnement du système en boucle fermés BF :	31
II.6.Conclusion :	32

Chapitre -III- La régulation du système

III.1.Introduction:	33
III.2.Description du système :	33
III.3.La réalisation du système :	34
III.3.1Essais de régulateur proportionnelle (P) :	34
III.3.2.Essais de régulateur proportionnelle-dérivée (PI):	37
III.4.Conclusion :	39
 Conclusion générale	 40

Introduction générale

Introduction générale

Actuellement, il n'existe pas de système industriel dépourvu d'une quelconque régulation.

Cette régulation est l'outil essentiel de tout fonctionnement industriel. Certes, elle diffère d'un procédé à un autre, d'une machine à une autre. Mais, la régulation la plus usuelle dans l'industrie, reste relative à la température.

Comme tous les systèmes sont confrontés à ce problème de la température, tous nécessitent le recours à sa régulation.

Cependant certains ont une grande propension, dans l'utilisation de plus en plus de système de régulation tels que l'industrie des hydrocarbures, les systèmes de chauffage, de climatisation, les fours....etc.

Dans notre projet de fin d'étude, on a réalisé un système de régulation de la température, en utilisant un modèle de système de contrôle de température B3510-A [9] et le module contrôleur de processus B3510-E [9].

Sur cette base, nous avons divisé notre mémoire en trois chapitres:

- Dans le premier chapitre: nous avons donné un aperçu sur la régulation des systèmes.
- Dans le deuxième chapitre: nous avons présenté et fait des essais sur le modèle B3510-A.
- Dans le troisième chapitre: nous avons décrit la régulation du système par le module contrôleur de processus B3510-E.

Chapitre I Régulateur PID

I.1.Introduction:

Les régulateurs PID répondent à plus du 90% des besoins industriels et le nombre de régulateurs installés dans une usine pétrolière, par exemple, se compte par milliers. Malheureusement, malgré l'expérience acquise au fil des ans, les valeurs choisies pour les paramètres P, I et D ne sont pas toujours satisfaisantes, ni adaptées au processus à régler.

L'histoire des régulateurs est déjà longue et il peut être intéressant de rappeler quelques étapes importantes. Les premiers régulateurs de type centrifuge apparaissent vers 1750 pour régler la vitesse des moulins à vent, suivi en 1788 du fameux contrôleur de vitesse d'une machine à vapeur de James Watt.

I.2.Généralité sur les systèmes asservis:

I.2.1.Définitions:

- **La régulation** regroupe l'ensemble des techniques utilisées visant à contrôler une grandeur physique. Par exemples: Pression, température, débit, niveau etc...
- **La grandeur réglée** est la grandeur physique que l'on désire contrôler. Elle donne son nom à la régulation. Par exemple : une régulation de température.
- **La consigne** est la valeur que doit prendre la grandeur réglée.
- **La grandeur réglant** est la grandeur physique qui a été choisie pour contrôler la grandeur réglée. Elle n'est pas généralement de la même nature que la grandeur réglée.
- **Les grandeurs perturbatrices** sont les grandeurs physiques qui influencent la grandeur réglée. Elles ne sont pas généralement de la même nature que la grandeur réglée.
- **L'organe de réglage** est l'élément qui agit sur la grandeur réglant [5].

I.2.2.Régulation ou Asservissement:

- Dans une régulation, on s'attachera à maintenir constante la grandeur réglée d'un système soumis à des perturbations.
- Dans un asservissement, la grandeur réglée devra suivre rapidement les variations de la consigne.

I.2.3.Principe de fonctionnement:

Pour réguler un système physique, il faut [5]:

- **Mesurer** la grandeur réglée avec un capteur.
- **Réfléchir** sur l'attitude à suivre : c'est la fonction du régulateur. Le régulateur compare la grandeur réglée avec la consigne et élabore le signal de commande.
- **Agir** sur la grandeur réglant par l'intermédiaire d'un organe de réglage.

On peut représenter une régulation de la manière suivante dans la figure (I.1):

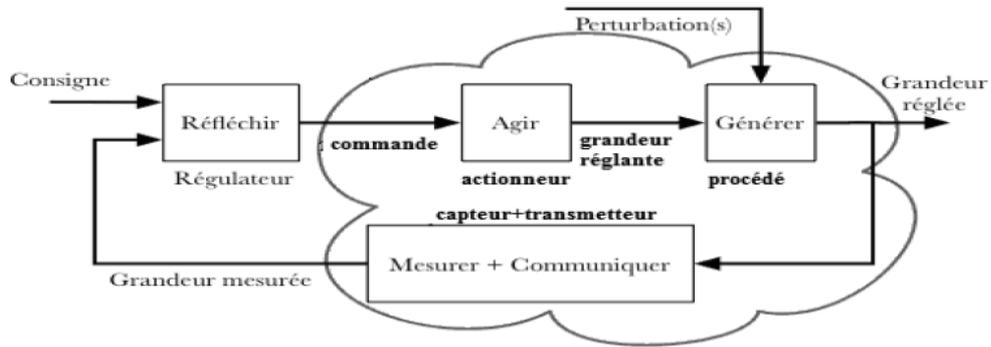
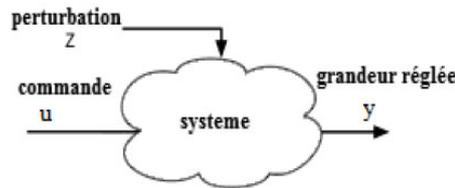


Figure (I.1) : Schéma de principe de fonctionnement d'une régulation.

I.2.4.Fonctionnement en boucle ouverte:

On parle de fonctionnement en boucle ouverte (figure I.2), quand c'est l'opérateur qui contrôle l'organe de réglage [5].



Figure(I.2): Le système en boucle ouverte.

I.2.5.Fonctionnement en boucle fermée:

C'est le fonctionnement normal d'une régulation. Le régulateur compare la mesure de la grandeur réglée et la consigne et agit en conséquence pour s'en rapprocher (figure I.3) [5].

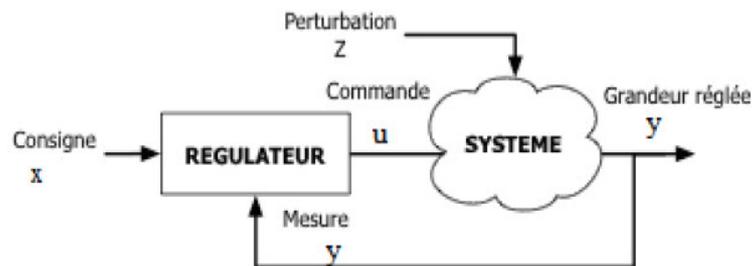
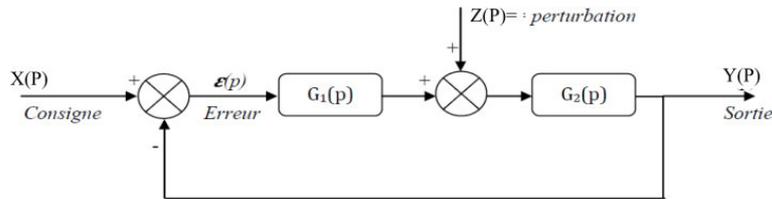


Figure (I.3):Le système en boucle fermée.

I.2.6.L'influence des perturbations:

Une perturbation est une entrée supplémentaire au système qu'on ne peut pas contrôler ou maîtriser. Ces perturbations ont une influence sur l'asservissement des systèmes (figure. I.4).



Figure(I.4): Schéma bloc d'un asservissement avec une perturbation.

La fonction de transfert du bloc d'asservissement est représentée comme suit :

Calculons $Y(p)$ en fonction de $Z(p)$, (En posant $X(p) = 0$):

$$Y_R(p) = \frac{G_2(p)}{1+G_1(p).G_2(p)} Z(p) \tag{I.1}$$

Calculons $Y(p)$ en fonction de $X(p)$, (En posant $Z(p) = 0$):

$$Y_E(p) = \frac{G_1(p).G_2(p)}{1+G_1(p).G_2(p)} X(p) \tag{I.2}$$

La sortie totale est :

$$Y_E(p) = \frac{G_2(p)}{1+G_1(p).G_2(p)} Z(p) + \frac{G_1(p).G_2(p)}{1+G_1(p).G_2(p)} X(p) \tag{I.3}$$

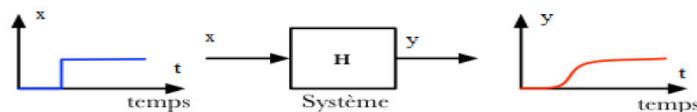
Une manière pratique de caractériser une perturbation sera d'utiliser l'intégrale de la valeur absolue de l'erreur due à une perturbation de charge sous la forme d'un échelon unitaire appliqué à l'entrée du système.

I.3.caractéristiques statique et dynamiques d'un procédé:

I.3.1.Stabilité:

I.3.1.1.Procédés naturellement stables:

Un procédé est dit naturellement stable (figure I.5) si à une variation finie de la grandeur réglant X correspond une variation finie de la grandeur réglée Y [5].



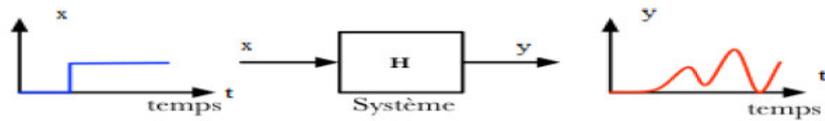
Figure(I.5) : Le système naturellement stable.

Exemple 1:

Grandeur réglée : température d'une pièce; Grandeur réglant: puissance du radiateur.

I.3.1.2.Procédés naturellement instables :

Un procédé est dit naturellement instable (figure I.6) si à une variation finie de la grandeur réglant X correspond une variation continue de la grandeur réglée Y [5].



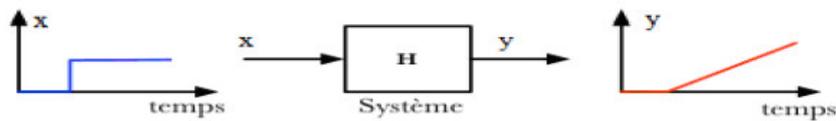
Figure(I.6):Le système naturellement instable.

Exemple 2:

Grandeur réglée: niveau; Grandeur réglant: débit d'alimentation.

I.3.1.3.Procédés intégrateurs:

On dit qu'un procédé est intégrateur (figure I.7), si pour une entrée X constante, la sortie Y est une droite croissante [5].

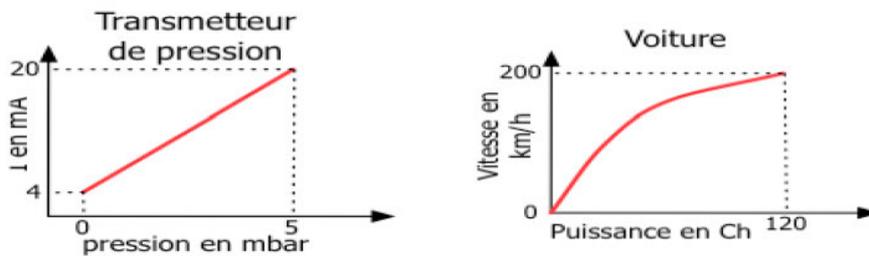


Figure(I.7) : Le procédé intégrateur.

I.3.2.Caractéristiques statiques d'un procédé:

I.3.2.1.Courbe caractéristique:

La caractéristique statique est la courbe représentative de la grandeur de sortie Y en fonction de la grandeur d'entrée X (figure I.8) [5].



Figure(I.8): Caractéristique statique d'un procédé

I.3.2.2.Gain statique:

Le gain statique G_S est le rapport entre la variation de la grandeur de sortie Δy et la variation de la grandeur d'entrée Δx [5]

$$G_S = \frac{\Delta y}{\Delta x} \tag{I.4}$$

I.3.2.3.Erreur statique:

Pour définir l'erreur statique, on s'intéresse à un système asservi en régime permanent (entrée constante), et à l'écart entre la sortie souhaitée (image de la consigne) et la sortie réelle Y(P).

On appelle cet écart erreur statique. Notation: $\epsilon (p)$

L'erreur statique, notée $x(P)$, l'écart : [5].

$$\varepsilon(P) = X(P) - Y(P) \tag{I.5}$$

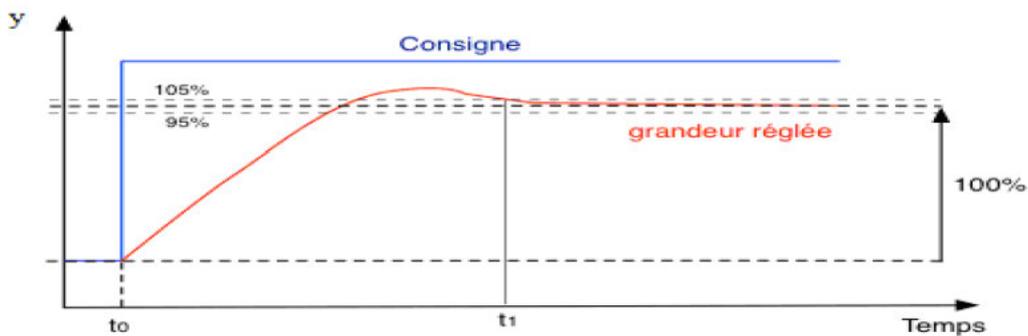
I.3.2.4.Linéarité:

Un système linéaire obéit au principe de superposition. L'effet de la somme d'excitations est égal à la somme des effets de chaque excitation [5].

I.3.3.Caractéristiques dynamiques d'un procédé:

I.3.3.1.Temps de réponse:

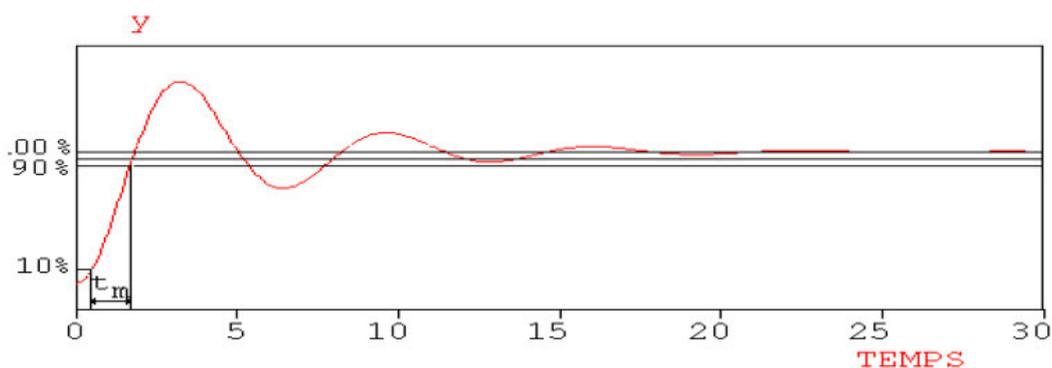
C'est l'aptitude du procédé à suivre les variations de la consigne. Dans le cas d'un échelon de la consigne, la croissance de la grandeur réglée définit les différents temps de réponse. Dans l'exemple ci-dessous de la figure (I.9), on mesure le temps de réponse à $\pm 5\%$ qui est égal à $t_1 - t_0$



Figure(I.9): Temps de réponse.

I.3.3.2.Temps de montée:

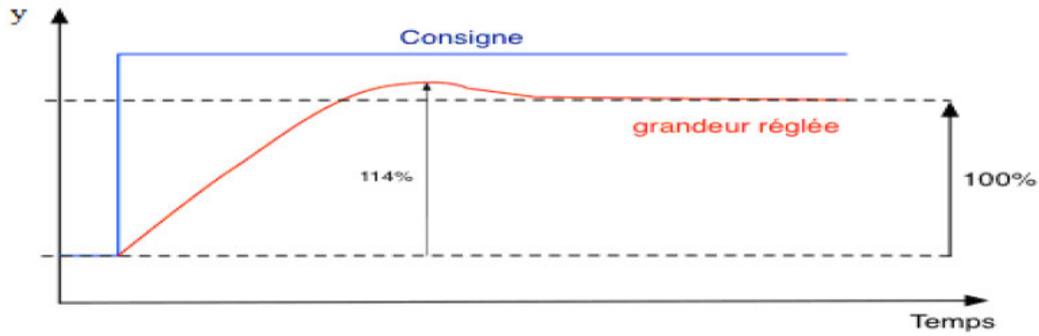
Le temps de montée (figure I.10) est l'intervalle de temps séparant les instants auxquels la réponse indicielle vaut 10% et 90% de la valeur finale [6].



Figure(I.10): Temps de montée.

I.3.3.3.Dépassement:

Le premier dépassement permet de qualifier la stabilité d'un système. Plus celui-ci sera important, plus le système sera proche de l'instabilité. Dans certaines régulations, aucun dépassement n'est toléré, dans d'autre un dépassement inférieur à 15% est considéré comme acceptable. Dans la réponse indicielle ci-dessous (figure I.11), le premier dépassement est de 14% [5].



Figure(I.11): Dépassement

I.4.Action élémentaires (proportionnelle, intégrale, dérivée):

I.4.1.Action proportionnelle:

- Equation temporelle [2]:

$$u(t) = K_p \cdot \varepsilon(t) + u_0 \text{ Ou } u(t) = \frac{1}{B_p} \varepsilon(t) + u_0 \tag{I.6}$$

K_p: Gain ou amplification. Cette constante est exprimée sans unité.

u₀: Lorsque l'écart ε(t) est nul, u₀ permet de commander l'actionneur avec une valeur non nulle.

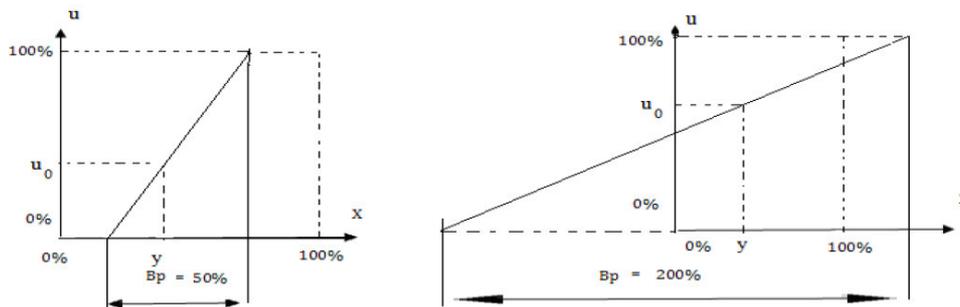
B_p: Bande proportionnelle (figure I.12).

Exemple 3:

B_p=50% donne $K_p = \frac{1}{50\%} = \frac{100}{50} = 2$

Exemple 4:

B_p=200% donne $K_p = \frac{1}{200\%} = \frac{100}{200} = 0.5$



Figure(I.12): Représentation des bandes proportionnelles de 50% et de 200%.

La fonction de transfert se déduit de l'équation temporelle .En effet, pour une variation ε(t) on a une variation

$$u(t) = K_p \varepsilon(t) \tag{I.7}$$

- La fonction de transfert est :

$$C(p) = \frac{u(p)}{\varepsilon(p)} = K_p = \frac{1}{Bp} \quad (I.8)$$

I.4.1.1. Rôle et domaine d'utilisation de l'action proportionnelle:

Le rôle de l'action P est de réduire l'erreur de réglage qui est inversement proportionnelle au gain, mais rend la réponse plus au moins oscillatoire. On choisit un gain qui permet d'avoir un bon taux d'amortissement. On utilise un régulateur P lorsque la précision n'est pas importante. Par exemple, le réglage du niveau d'eau dans un réservoir de stockage. L'action P est souvent suffisante pour régler plusieurs systèmes dans l'industrie. Elle est simple à réaliser (simple amplificateur) d'où son grand avantage. [1]

I.4.2. Action intégrale:

- Equation temporelle [2]:

$$u(t) = \int_0^t \varepsilon(t) dt + u_0 = k_i \int_0^t \varepsilon(t) dt + u_0 \quad (I.9)$$

T_i : constante de temps de l'action intégrale. Cette constante est souvent exprimée en minutes.

K_i : coefficient d'action intégrale ou taux d'action intégrale. K_i est exprimé en min^{-1} .

u_0 : valeur initiale de u. Cette valeur n'est pas réglable directement; c'est une mise en mémoire de l'évolution de u(t) avant $T=0$.

- Fonction de transfert:

$$C(p) = \frac{u(p)}{\varepsilon(p)} = \frac{1}{T_i p} = \frac{K_i}{p} \quad (I.10)$$

I.4.2.1. Rôle et domaine d'utilisation de l'action intégrale:

Dans les régulateurs industriels on affiche $1/T_i$, alors T_i est d'autant plus grand que l'action intégrale est faible. Le rôle principal de l'action intégrale est d'éliminer l'erreur statique. Toute fois l'action intégrale est un élément à retard de phase, donc l'augmentation de l'action intégrale (diminué T_i) produit une instabilité car elle déplace le lieu de Nyquist vers la gauche. La valeur optimale est choisie pour satisfaire un compromis stabilité-rapidité. Si le système possède lui même un intégrateur (exemple niveau), l'action I est quand même nécessaire pour annuler l'écart de perturbation car, suite aux variations de la consigne l'intérêt de l'action I est moindre car l'écart s'annule naturellement. Dans l'industrie, on utilisera l'action I chaque fois que nous avons besoin, pour des raisons technologiques, d'avoir une précision parfaite, exemple: la régulation de la pression ou température dans un réacteur nucléaire. De plus, il faut souligner que l'action I est un filtre donc il est intéressant de l'utiliser pour le réglage des paramètres très dynamiques tels que la pression [31]. On peut conclure que l'action intégrale:

- ajoute dans la chaîne de commande une intégration afin d'annuler l'erreur statique en régime permanent.
- améliore la précision.
- mais introduit un déphasage de -90° et risque de rendre le système instable.

I.4.3.Action dérivée :

- Equation temporelle [2]:

$$u(t) = T_d \frac{d\varepsilon(t)}{dt} \quad (\text{I.11})$$

T_d : constante de temps de l'action dérivée. Cette constante est, le plus souvent, exprimée en secondes.

- Fonction de transfert :

$$c(p) = \frac{u(p)}{\varepsilon(p)} = T_d p \quad (\text{I.12})$$

I.4.3.1.Rôle et domaine d'utilisation de l'action dérivée :

L'action dérivée compense les effets du temps mort du processus. Elle a un effet stabilisateur mais une valeur excessive peut entraîner une instabilité. Sur le plan de Nyquist l'action D permet de déplacer le lieu de transfert vers la droite car elle possède une avance de phase (de +90 degré). La présence de l'action dérivée permet donc d'augmenter la rapidité du système en augmentant le gain sans être inquiété par la stabilité. Dans l'industrie, l'action D n'est jamais utilisée seule mais en général avec l'action intégrale. On recommande de l'utiliser pour le réglage des paramètres lents tels que la température. Par contre en présence des paramètres bruités, l'action dérivée est déconseillée [1].

I.4.4.Résumé :

P → L'action P s'apparente à la vitesse et à la rapidité. Elle répond de manière instantanée à l'écart constaté sur la grandeur à régler; par son gain, elle permet de vaincre les inerties du système. Le régulateur P est appréciable lorsque la précision n'est pas essentielle. Afin de diminuer l'écart de réglage et rendre le système plus rapide, on augmente le gain (on diminue la bande proportionnelle) mais, on est limité par la stabilité du système. Le régulateur P est utilisé lorsqu'on désire régler un paramètre dont la précision n'est pas importante, exemple : régler le niveau dans un bac de stockage.

I → L'action I s'apparente à la position et à la précision Elle complète et améliore la précision de l'action P en atténuant l'écart de statisme. Elle permet d'éliminer l'erreur résiduelle en régime permanent. Afin de rendre le système plus dynamique (diminuer le temps de réponse), on diminue l'action intégrale mais, ceci provoque l'augmentation du déphasage ce qui provoque l'instabilité en état fermé. L'action intégrale est utilisée lorsqu'on désire avoir en régime permanent, une précision parfaite, en outre, elle permet de filtrer la variable à régler d'où l'utilité pour le réglage des variables bruitées telles que la pression.

D → L'action D s'apparente à l'accélération de la réponse et à la stabilité. Pour le réglage des variables lentes, elle compense les temps morts et les inerties en permettant notamment un amortissement rapide des oscillations dues à l'apparition d'une perturbation ou à une variation subite de la consigne. Dans la pratique, l'action dérivée est appliquée aux variations de la grandeur à régler seule et non de l'écart mesure-consigne afin d'éviter les à-coups dus à une variation subite de la consigne. L'action D est utilisée dans l'industrie pour le réglage des variables lentes telles que la température, elle n'est pas recommandée pour le réglage d'une variable bruitée ou trop dynamique

(la pression). En dérivant un bruit, son amplitude risque de devenir plus importante que celle du signal utile [7].

I.5.Type de régulateurs:

I.5.1.Régulateur à action proportionnelle (P):

Le régulateur à action proportionnelle, ou régulateur P est une action simple et puisqu'il construit une commande $u(t)$ proportionnelle à l'erreur $e(t)$.

Cette action s'apparente à un effet de ressort (ressort de rappel) [3].

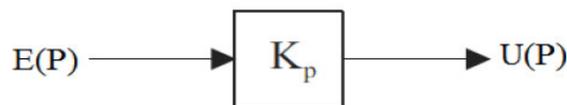
- Loi de commande du régulateur P:

$$u(t) = k_p \cdot e(t) \tag{I.13}$$

- Fonction de transfert du régulateur P:

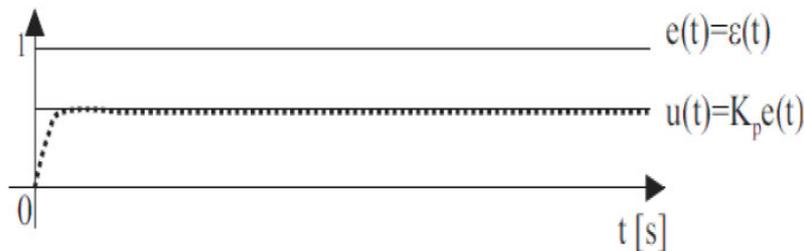
$$G_c(p) = \frac{U(p)}{E(p)} = k_p \tag{I.14}$$

- Schéma fonctionnel du régulateur P:



Figure(I.13): Schéma fonctionnel du régulateur P.

- Réponse indicielle du régulateur P:



Figure(I.14): Réponse indicielle du régulateur P.

I.5.2. Régulateurs à action proportionnelle-intégrale (PI):

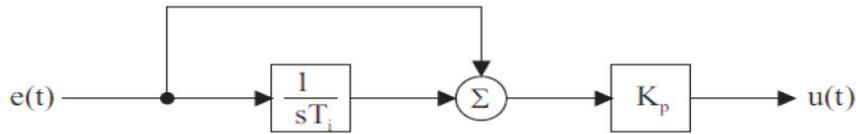
- Fonction de transfert du régulateur PI:

$$C(P) = k_p \cdot \frac{1+T_i p}{T_i p} \tag{I.15}$$

- Equation temporelle:

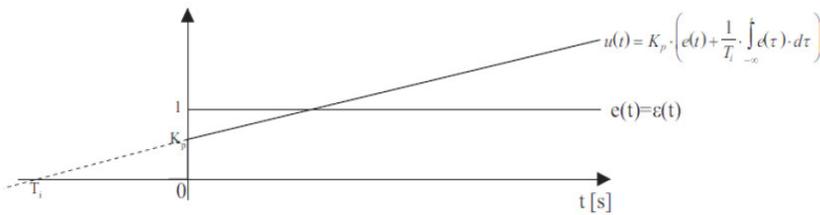
$$u(t) = k_p (\varepsilon(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t \varepsilon(t) dt) \tag{I.16}$$

- Schéma fonctionnel du régulateur PI:



Figure(I.15): Schéma fonctionnel du régulateur PI

- Réponse indicielle du régulateur PI:



Figure(I.16): Réponse indicielle du régulateur PI

I.5.3. Régulateur à action proportionnelle-dérivée (PD):

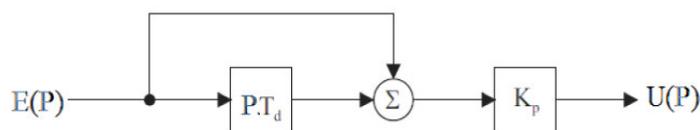
- Fonction de transfert du régulateur PD:

$$c(p) = \frac{U(p)}{E(p)} = k_p(1 + T_d p) \tag{I.17}$$

- Equation temporelle :

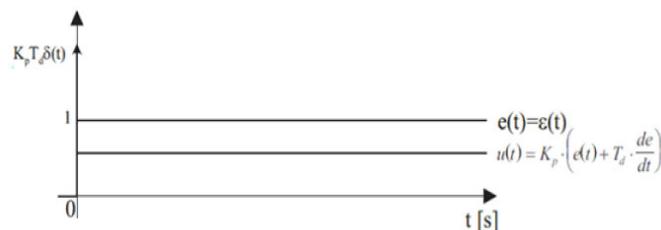
$$u(t) = k_p(e(t) + T_d \cdot \frac{de(t)}{dt}) \tag{I.18}$$

- Schéma fonctionnel du régulateur PD:



Figure(I.17): Schéma fonctionnel du régulateur PD.

- Réponse indicielle du régulateur PD :



Figure(I.18): Réponse indicielle du régulateur PD.

I.5.4. Régulateur Tout ou Rien (TOR):

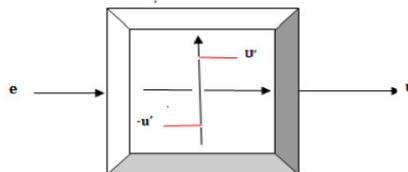
La plus simple des régulations est la régulation par tout ou rien (figure I.19). Elle est utilisée quand la dynamique du procédé est très lente (grande constante du temps). C'est une régulation discontinue. Sa réalisation impose de se fixer une limite inférieure et une limite supérieure de la grandeur réglée.

Lorsque la mesure atteint la limite inférieure l'actionneur, commandé par le régulateur TOR ou tout simplement un relais, prend une position particulière (arrêt ou marche pour une pompe, ouvert ou fermé pour une vanne). De façon analogue, le fait d'atteindre la limite supérieure place l'actionneur dans la position contraire. La mesure oscille donc entre ces deux valeurs extrêmes et sa variation prend une allure en dents de scie. Ce réglage simple, bon marché présente l'inconvénient d'être peu précis.

- Deux états possibles de la commande
- La grandeur réglée oscille autour du point de fonctionnement
- Utilisés pour la commande des systèmes ayant une grande inertie où la précision de régulation n'est pas importante Régulation d'un four à l'aide d'une résistance chauffante un régulateur de figure (I.22) génère la grandeur de commande "u", en fonction de l'écart "e".

$$u = \begin{cases} u' = \bar{u}, & e > 0 \\ -u' = \underline{u}, & e \leq 0 \end{cases} \quad (I.29)$$

\bar{u} et \underline{u} sont des nombres réels fixes, suivant les applications on choisit: ($\underline{u} = 0$) ou ($u = -\bar{u}$). On peut réaliser un régulateur tout ou rien par : interrupteur et relais.



Figure(I.19): Régulateur Tout Ou Rien (TOR)

I.5.4. Régulateur à action Proportionnel-Intégral-Dérivée (PID):

Le régulateur PID (Proportionnel-Intégral-Dérivée) est la combinaison des trois actions de base P, I et D. Grâce aux termes P et I, ils permettent l'annulation d'une erreur statique tout en autorisant grâce à l'action D des performances de rapidité supérieures à celles d'un régulateur PI.

Le régulateur PID est un organe de contrôle permettant d'effectuer une régulation en boucle fermée d'un système industriel. C'est le régulateur le plus utilisé dans l'industrie, et il permet de contrôler un grand nombre de procédés.

I.5.4.1.Principe général:

Le PID est une correction dite "série", c'est-à-dire qu'elle agit à la sortie du comparateur, sur l'erreur.

L'erreur est la différence entre la consigne et la mesure. Le correcteur PID agit de 3 manières:

- **Action Proportionnelle (P) :** Elle assure la rapidité. L'erreur est multipliée par un gain K_p . Sur la plupart des régulateurs, on règle la Bande Proportionnelle au lieu de régler le gain du régulateur.

$$\circ BP(\%) = \frac{100}{k_p} \tag{I.19}$$

- **Action Intégrale (I) :** Elle annule l'erreur statique. L'erreur est intégrée et divisée par un gain T_i .
- **Action Dérivée (D) :** Elle améliore la stabilité. L'erreur est dérivée et multipliée par un gain T_d

I.5.4.2.Différente structures du régulateur PID:

Les actions élémentaires d'un régulateur peuvent être associées de plusieurs façons. On parle de la structure d'algorithme du régulateur. Les valeurs des paramètres PID ne donnent pas le même comportement du procédé selon que la structure est parallèle ou mixte. C'est pourquoi il est primordial que l'automaticien connaisse la structure existante du régulateur. La structure est imposé par le fabriquant du régulateur [2].

I.5.2.1.Structure parallèle:

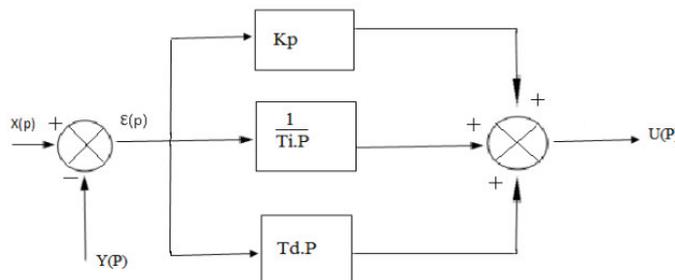
C'est la structure présentée dans la (figure. I.20).

- Équation temporelle:

$$u(t) = K_p \cdot \varepsilon(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t \varepsilon(t) d(t) + T_d \frac{d\varepsilon(t)}{dt} + u_0 \tag{I.20}$$

- Équation de transfert:

$$C(p) = \frac{y(p)}{\varepsilon(p)} = K_p + \frac{1}{T_i p} + T_d p \tag{I.21}$$



Figure(I.20):Régulation à structure parallèle

I.5.2.2. Structure série:

C'est la structure présentée dans la (figure. I.21).

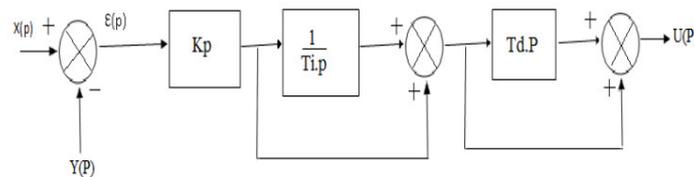
- Équation temporelle:

$$u(t) = \alpha \cdot K_p \cdot \varepsilon(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t \varepsilon(t) \cdot d(t) + K_p T_d \frac{d\varepsilon(t)}{dt} + u_0 \quad (I.22)$$

Où $\alpha = \frac{T_i + T_d}{T_i} = K_p$ est le coefficient théorique d'interaction entre action intégrale et action dérivée.

- Équation de transfert:

$$C(p) = \frac{u(p)}{\varepsilon(p)} = K_p \cdot \left(1 + \frac{1}{T_i p}\right) (1 + T_d p) \quad (I.23)$$



Figure(I.21): Régulateur à structure série.

I.5.2.3. Structure mixte:

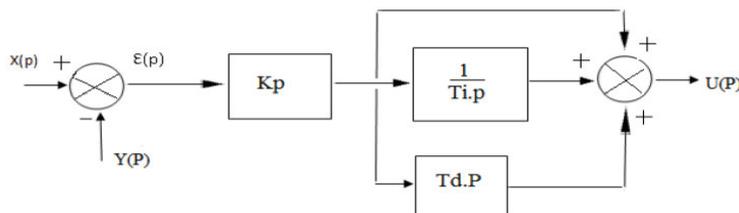
C'est la structure présentée dans la (figure. I.21). Elle est la plus utilisée actuellement par les constructeurs.

- Équation temporelle :

$$u(t) = K_p \cdot \varepsilon(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t \varepsilon(t) d(t) + K_p T_d \frac{d\varepsilon(t)}{dt} + u_0 \quad (I.24)$$

- Équation de transfert :

$$C(p) = \frac{y(p)}{\varepsilon(p)} = K_p \cdot \left(1 + \frac{1}{T_i p} + T_d p\right) \quad (I.25)$$



Figure(I.22) : Régulateur à structure mixte (classique).

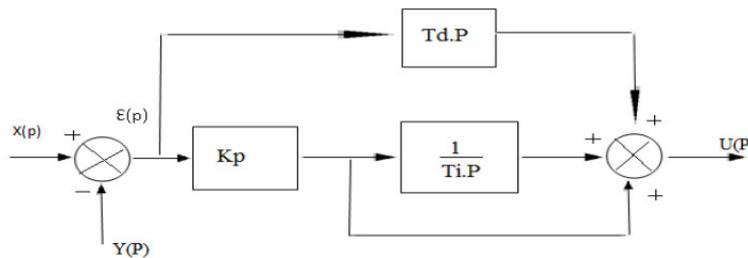
D'autres structures mixtes existent aussi comme par exemple (figure .I.22):

- Equation temporelle :

$$u(t) = K_p \varepsilon(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t \varepsilon(t) dt + T_d \frac{d\varepsilon(t)}{dt} + u_0 \tag{I.26}$$

- Fonction de transfert :

$$C(p) = \frac{y(p)}{\varepsilon(p)} = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i p} \right) + T_d p \tag{I.27}$$



Figure(I.23) : Régulateur à structure mixte (variante).

I.5.4.3. Réglage d'un PID:

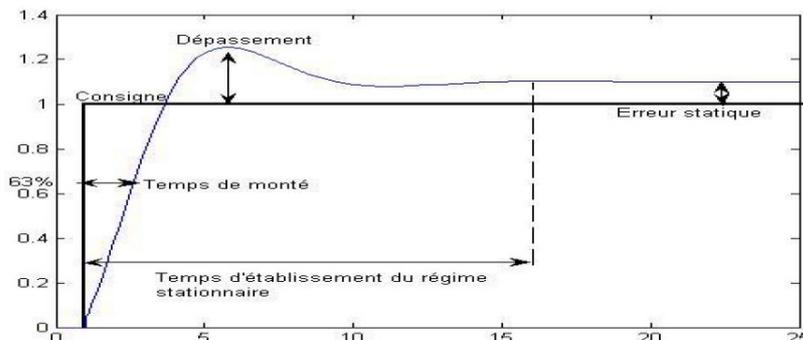
Le réglage d'un PID consiste à déterminer les coefficients K_p , T_d et T_i afin d'obtenir une réponse adéquate du procédé et de la régulation. L'objectif est d'être robuste, rapide et précise. Il faut pour cela limiter les éventuels dépassements.

- La robustesse est sans doute le paramètre le plus important et délicat. On dit qu'un système est robuste si la régulation fonctionne toujours même si le modèle change un peu. Par exemple, les fonctions de transfert de certains procédés peuvent varier en fonction de la température ambiante.

Un régulateur doit être capable d'assurer sa tâche même avec ces changements afin de s'adapter à des usages non prévus (dérive de production, vieillissement mécanique,...).

- La rapidité du régulateur dépend du temps de montée et du temps d'établissement du régime dynamique.
- Le critère de précision est basé sur l'erreur statique (ou de statisme).

La réponse typique d'un procédé stable est la suivante:



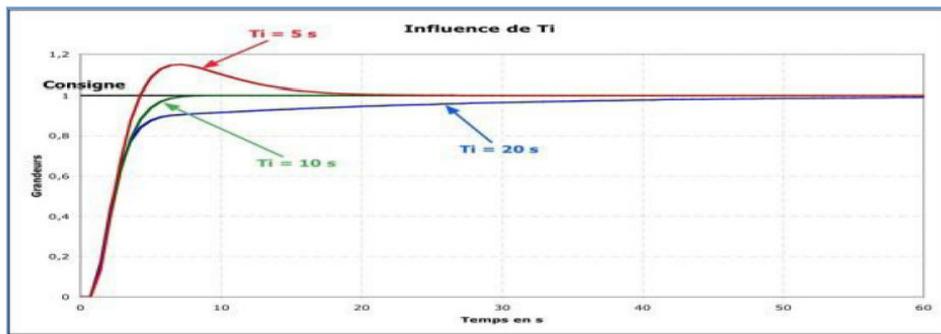
Figure(I.24) : La réponse type procédé stable.

I.5.4.4. Influence des performances sur les régulateurs PID:[4]

I.5.4.4.1. Influence de T_i :

Lorsque $1/T_i$ augmente, le temps de montée est plus court mais il y a un dépassement plus important.

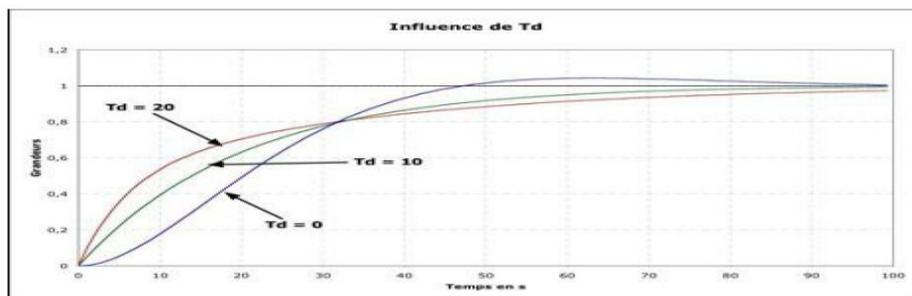
Le temps d'établissement au régime stationnaire s'allonge mais dans ce cas on assure une erreur statique nulle. Donc plus ce paramètre est élevé, plus la réponse du système est ralentie.



Figure(I.25) : Courbe d'influence de T_i .

I.5.4.4.2. Influence de T_d :

Lorsque T_d augmente, le temps de montée change peu mais le dépassement diminue. Le temps d'établissement au régime stationnaire est meilleur. Pas d'influences sur l'erreur statique. Si ce paramètre est trop élevé dans un premier temps, il stabilise le système en le ralentissant trop, mais, dans un deuxième temps le régulateur anticipe trop et un système à temps mort élevé devient rapidement instable.



Figure(I.26) : Courbe d'influence de T_d

Quand augmente	Stabilité	Rapidité	Précision
T_i	Augmente	Diminue	Pas d'influence
T_d	Diminue	Augmente	Pas d'influence

Tableau (I.1) : l'influence de T_i et de T_d avec les régulateurs PID.

I.5.4.5. Loi de commande du régulateur PID:

$$u(t) = K_p(e(t) + \frac{1}{T_i} \int_{-\infty}^t e(\tau) \cdot d(\tau) + T_d \quad (I.28)$$

I.5.4.6. Fonction de transfert du régulateur PID :

$$G_c(P) = \frac{U(P)}{E(P)} = K_P \frac{1+P \cdot T_i + P^2 \cdot T_i \cdot T_d}{P \cdot T_i} \quad (I.29)$$

I.6. Méthodes De Synthèse D'un régulateur PID:

Le problème de synthèse d'un régulateur PID n'est plus alors qu'un problème de réglage des actions proportionnelle, intégrale et dérivée. Comme les méthodes doivent être utilisées en milieu industrielle, elles doivent d'être rapides et simples à mettre en œuvre, tout en étant le plus précises et efficaces possible.[8].

I.6.1. La régulation de la température:

La température est parmi les grandeurs les plus importantes dans le milieu industriel. La mesure et le contrôle de cette dernière nécessite une régulation pour assurer le bon fonctionnement du procédé selon les critères définis dans un cahier de charge

I.6.2. Le régulateur de la température:

Un régulateur de température est un instrument utilisé pour contrôler la température. Son entrée est reliée à un capteur de température, et sa sortie reliée à un élément de commande, et dans notre cas il est relié au contrôleur de rafale.

I.6.3. Le fonctionnement des contrôleurs de température:

Pour contrôler la température d'un procédé avec précision, sans intervention de l'opérateur, le système de contrôle de température repose sur un contrôleur qui accepte un capteur de température comme entrée tel qu'un thermocouple RTD. Il compare la température réelle à la température de régulation désirée, ou la consigne, et fournit une sortie à un élément de commande. Le contrôleur est une partie du système doit être analysé lors de la sélection du contrôleur correspondant. Les éléments suivants doivent être considérés lors du choix d'un contrôleur:

1. Le type de capteur d'entrée (thermocouple, RTD) et la gamme de température.
2. Le type de sortie requis (relais électromécanique, semi-conducteur, sortie analogique).
3. L'algorithme de contrôle nécessaire (proportionnel, PID).
4. Nombre et type de sorties (chauffage, refroidissement, alarme, limite).

I.7.Conclusion:

Dans ce chapitre nous avons donné une idée générale sur les systèmes asservis et la régulation PID. L'action associée au régulateur PID permet une régulation optimale en associant les avantages de chaque action: la composante "P" réagit à l'apparition d'un écart de réglage, la composante "D" s'oppose aux variations de la grandeur réglée et stabilise la boucle de régulation et la composante "I" élimine l'erreur statique. Ce type de correcteur est le plus utilisé en milieu industriel. Dans un régulateur PID, il existe plusieurs façons d'associer les paramètres P, I et D. En effet, le correcteur PID peut avoir une structure série, parallèle ou mixte. Dans le prochain chapitre, nous allons présenter le modèle de système de contrôle de température B1510-A.

Chapitre II Les applications sur un système de température

II.1.Introduction:

D'une manière générale, les principaux problèmes posés par la mise en œuvre des systèmes physiques ou industriels concernent leur commande, à savoir la détermination optimale des signaux d'entrée qu'il faut leur appliquer pour qu'ils se comportent de la manière souhaitée.

Dans ce chapitre, on va présenter le modèle de contrôle de température B3510-A est fait des essais on boucle ouverte et on boucle fermée.

II.2.Généralités:

Le B3510-A [9] est un modèle de Système de Contrôle de Température de taille compacte avec des équipements pour étudier et expérimenter les sujets suivants:

–Caractéristiquesetconstructiondescapteursdetempérature:Thermocouple, Thermo-résistances (CTP, CTN), Eléments thermostatiques bimétalliques.

Les circuits d'interface pour ces éléments sont analysés et examinés.

–Contrôles de température de base du type ON/OFF avec point de consigne et hystérésis réglables.

–Contrôle proportionnel avec paramètres de la boucle réglables.

–Techniques de contrôle de puissance pour l'élément de chauffage en c.c.

Le module est muni d'un dissipateur et d'un élément de chauffage pour simuler efficacement un four dont la température peut être contrôlée. Le module comprend également des blocs de circuits à interconnecter par des câbles enfichables pour mettre en place les différentes configurations des essais.

Ce module nécessite pour le fonctionnement de la même Alimentation B4191 (B3510-BU). [9]

Comme tous les modules de cette série.

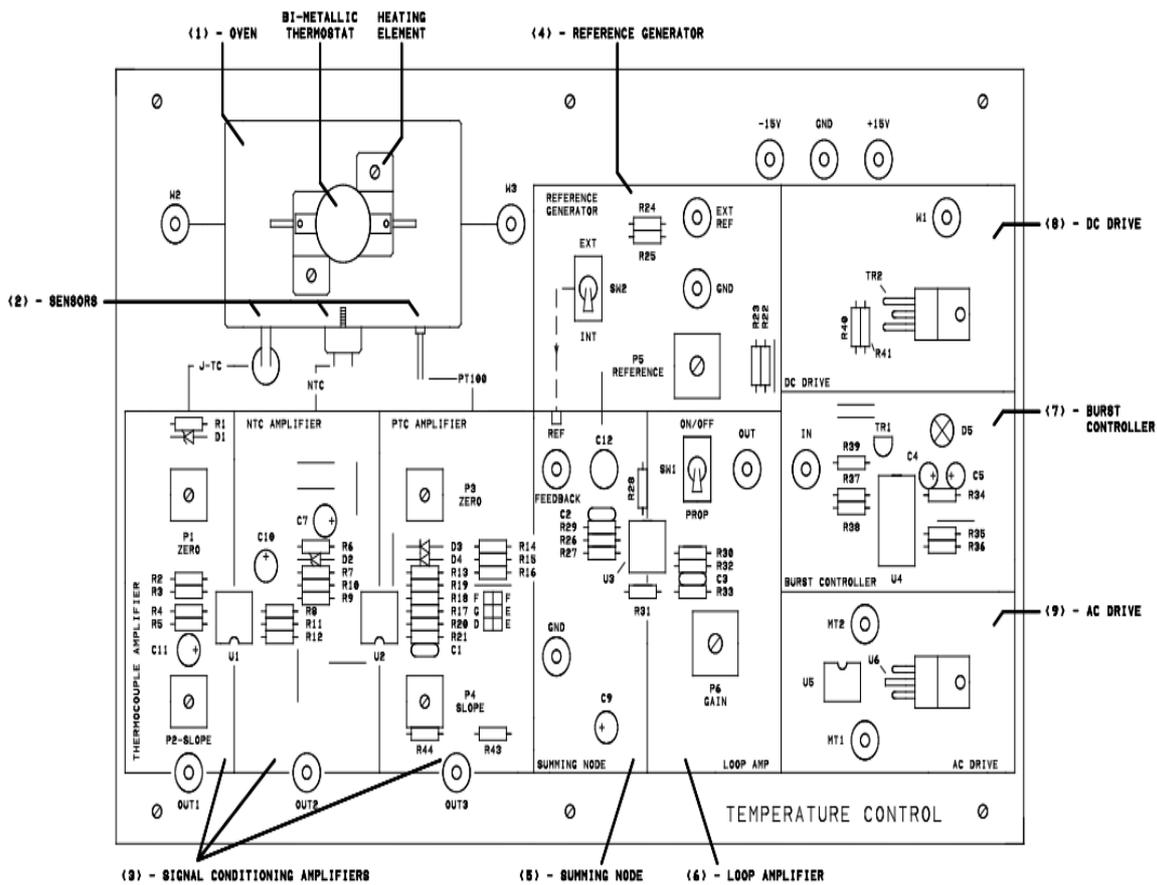
L'utilisation d'une autre alimentation est possible, fournissant les sources suivantes:

- +15Vcc, 1A Stabilisée.
- -15Vcc, 1A Stabilisée.
- de 15 à 18Vca, 1A.
- de 30 à 36Vca, 1A.

L'unitédidactiquene requiert qu'un minimum d'instruments pour les opérations, essentiellement consistant en un oscilloscope à deux canaux, 20MHz et un multimètre de laboratoire ordinaire.

II.3.Description du système:

Cette section décrit la fonction et les caractéristiques de chaque bloc du diagramme de la Figure(II.1) qui suit est un schéma-bloc du même permettant de mieux comprendre les fonctions dechaque section du module. Enfin Figure(II.6) est le schéma électrique détaillé du module.



Figure(II.1) : Système de contrôle de température B3510-A

II.3.1. Four:

C’est le bloc en haut à gauche de la Fig.1A. Il se compose d’un tronc de tige d’aluminium sur laquelle l’élément de chauffage et les capteurs sont montés.

L’élément de chauffage est une résistance 25W–33 Ohm alimentée à basse tension par un étage pilote.

II.3.2. Capteurs:

Les capteurs fournis sont un Thermocouple J-TC et une résistance à Coefficient de Température Négatif (CTN), une sonde Platine Pt100 et un thermostat bimétallique.

THERMOCOUPLE:

Le nom J-TC l’identifie comme un type de Fer/Constantan. Laissez-vous rappeler qu’il y a plusieurs types de thermocouples communément utilisés dans l’industrie, comme le Nickel/Chrome, le Cuivre/Constantan, le Chromel/Alumel etc. Les noms de chaque paire identifient les matériaux. Certains des noms sont manifestement le nom d’un métal, tandis que d’autres se référant à un alliage standard. Le terme Constantan par exemple s’applique à un alliage standard de Cuivre et Nickel (40% Cu + 60% Ni).

Le thermocouple est une jonction des deux matériaux métalliques. Un thermocouple peut être très simplement construit en tordant ensemble les deux fils et en soudant le joint par une flamme ou une soudure par points.

Les effets thermoélectriques impliqués sont nommé d’après les physiciens qui les ont découverts et examinés: Peltier, Seebeck, etc.: essentiellement une tension est développé aux bornes de la jonction qui dépend strictement du matériau et de la température de la jonction.

Si le matériau de la paire est conforme à la composition chimique, à la pureté et aux autres caractéristiques prévues par les normes standards, la tension de la jonction peut être prise comme référence de la mesure de la température à travers des tables de conversion V/°T appropriées.

Chaque paire standard a une caractéristique Tension/Température particulière. La paire Or/Monel et la paire Fer/Constantan sont particulièrement diffusées, puisque la première donne une majeure variation de tension par °C (et donc simplifie la mesure) tandis que la seconde donne un signal faible mais est remarquablement linéaire dans sa caractéristique (et donc simplifie la conversion V/°T avec les instruments à lecture directe).

Le tableau de la Fig.2 donne la caractéristique V/°T pour le Thermocouple J-TC utilisé dans l'unité didactique.

Thermoelectric Voltage in Millivolts

°C	-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	°C
-90	-4.633	-4.591	-4.550	-4.509	-4.467	-4.425	-4.384	-4.342	-4.300	-4.257	-4.215	-90
-80	-4.215	-4.173	-4.130	-4.088	-4.045	-4.002	-3.959	-3.916	-3.872	-3.829	-3.786	-80
-70	-3.786	-3.742	-3.698	-3.654	-3.610	-3.566	-3.522	-3.478	-3.434	-3.389	-3.344	-70
-60	-3.344	-3.300	-3.255	-3.210	-3.165	-3.120	-3.075	-3.029	-2.984	-2.938	-2.893	-60
-50	-2.893	-2.847	-2.801	-2.755	-2.709	-2.663	-2.617	-2.571	-2.524	-2.478	-2.431	-50
-40	-2.431	-2.385	-2.338	-2.291	-2.244	-2.197	-2.150	-2.103	-2.055	-2.008	-1.961	-40
-30	-1.961	-1.913	-1.865	-1.818	-1.770	-1.722	-1.674	-1.626	-1.578	-1.530	-1.482	-30
-20	-1.482	-1.433	-1.385	-1.336	-1.288	-1.239	-1.190	-1.142	-1.093	-1.044	-0.995	-20
-10	-0.995	-0.946	-0.896	-0.847	-0.798	-0.749	-0.699	-0.650	-0.600	-0.550	-0.501	-10
0	-0.501	-0.451	-0.401	-0.351	-0.301	-0.251	-0.201	-0.151	-0.101	-0.050	0.000	0
0	0.000	0.050	0.101	0.151	0.202	0.253	0.303	0.354	0.405	0.456	0.507	0
10	0.507	0.558	0.609	0.660	0.711	0.762	0.814	0.865	0.916	0.968	1.019	10
20	1.019	1.071	1.122	1.174	1.226	1.277	1.329	1.381	1.433	1.485	1.537	20
30	1.537	1.589	1.641	1.693	1.745	1.797	1.849	1.902	1.954	2.006	2.059	30
40	2.059	2.111	2.164	2.216	2.269	2.322	2.374	2.427	2.480	2.532	2.585	40
50	2.585	2.638	2.691	2.744	2.797	2.850	2.903	2.956	3.009	3.062	3.116	50
60	3.116	3.169	3.222	3.275	3.329	3.382	3.436	3.489	3.543	3.596	3.650	60
70	3.650	3.703	3.757	3.810	3.864	3.918	3.971	4.025	4.079	4.133	4.187	70
80	4.187	4.240	4.294	4.348	4.402	4.456	4.510	4.564	4.618	4.672	4.726	80
90	4.726	4.781	4.835	4.889	4.943	4.997	5.052	5.106	5.160	5.215	5.269	90
100	5.269	5.323	5.378	5.432	5.487	5.541	5.595	5.650	5.705	5.759	5.814	100
110	5.814	5.868	5.923	5.977	6.032	6.087	6.141	6.196	6.251	6.306	6.360	110
120	6.360	6.415	6.470	6.525	6.579	6.634	6.689	6.744	6.799	6.854	6.909	120
130	6.909	6.964	7.019	7.074	7.129	7.184	7.239	7.294	7.349	7.404	7.459	130
140	7.459	7.514	7.569	7.624	7.679	7.734	7.789	7.844	7.900	7.955	8.010	140
150	8.010	8.065	8.120	8.175	8.231	8.286	8.341	8.396	8.452	8.507	8.562	150
160	8.562	8.618	8.673	8.728	8.783	8.839	8.894	8.949	9.005	9.060	9.115	160
170	9.115	9.171	9.226	9.282	9.337	9.392	9.448	9.503	9.559	9.614	9.669	170
180	9.669	9.725	9.780	9.836	9.891	9.947	10.002	10.057	10.113	10.168	10.224	180
190	10.224	10.279	10.335	10.390	10.446	10.501	10.557	10.612	10.668	10.723	10.779	190
°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C

Figure(II.2) : donne la caractéristique V/°T pour le Thermocouple J-TC.

Le CTN: est un autre type de capteur présent dans l'unité. Ce sont des dispositifs très populaires parce qu'ils peuvent fournir une variation de résistance grande et facile à mesurer quand la température change.

Les CTNs sont construits dans des boîtiers de forme différente. Celui utilisé ici a l'aspect d'un boulon avec deux fils sortant du haut. Cette forme est particulièrement apte pour un montage simple sur des surfaces planes.

Les CTNs sont construits à partir de tranches de matériau semi-conducteur dopé de façon appropriée pour souligner la variation de résistance intrinsèque en fonction de la température.

Malheureusement la variation de résistance d'un CTN n'est pas du tout linéaire avec la température. Il existe plusieurs configurations de circuits de linéarisation utilisés.

Temperature	Ratio R_T/R_{25}
°C	
-40	32,84
-35	23,77
-30	17,39
-25	12,85
-20	9,589
-15	7,223
-10	5,489
-5	4,207
0	3,251
5	2,531
10	1,986
15	1,569
20	1,249
25	1,000
30	0,8060
35	0,6536
40	0,5331
45	0,4372
50	0,3606
55	0,2989
60	0,2490
65	0,2085
70	0,1753
75	0,1481
80	0,1256
85	0,1070
90	0,09155
95	0,07861
100	0,06775
105	0,05860
110	0,05086
115	0,04429
120	0,03870
125	0,03392

Fig.3A

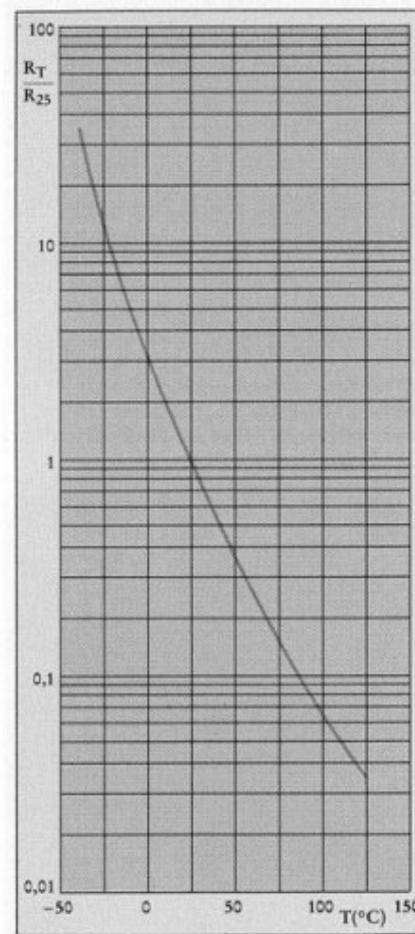


Fig.3B

Figures(II .3A et II.3B) : Caractéristiques Résistance Relative -Versus-Température

Le CTP: (résistance avec Coefficient de Température Positif) est monté aussi sur le dissipateur. Ceci est du type dit Pt100, c'est à dire c'est une résistance de platine avec une résistance nominale de 100Ω à 0°C.

Le platine a un coefficient de température si précis et répétable que les thermomètres à résistance de platine sont souvent utilisés comme des standards de laboratoire.

Le Pt100 de ce module se compose d'une couche mince de matériau céramique sur lequel une piste de Platine est implantée.

La petite taille de ce dispositif assure une réponse rapide aux variations thermiques (faible capacité thermique).

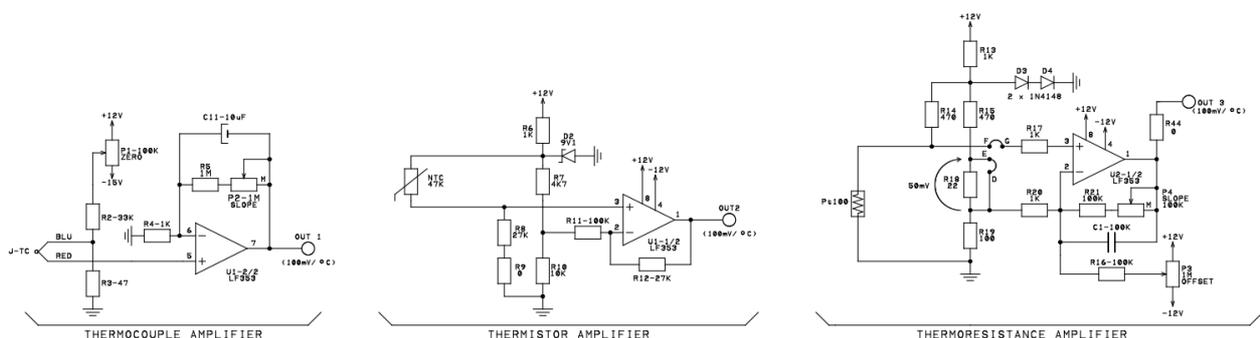
Le Pt100 de cette unité didactique a des caractéristiques conformes à la norme DIN 43760 (Deutsches Institut für Normung E.V).

Le tableau des données est montré dans la Fig.4.

°C	-0	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9
-100	80.25	59.85	59.44	59.04	58.63	58.22	57.82	57.41	57.00	56.60
-90	64.30	63.90	63.49	63.09	62.68	62.28	61.87	61.47	61.06	60.66
-80	68.33	67.92	67.52	67.12	66.72	66.31	65.91	65.51	65.11	64.70
-70	72.33	71.93	71.53	71.13	70.73	70.33	69.93	69.53	69.13	68.73
-60	76.33	75.93	75.53	75.13	74.73	74.33	73.93	73.53	73.13	72.73
-50	80.31	79.91	79.51	79.11	78.72	78.32	77.92	77.52	77.13	76.73
-40	84.27	83.83	83.48	83.08	82.69	82.29	81.89	81.50	81.10	80.70
-30	88.22	87.83	87.43	87.04	86.64	86.25	85.85	85.46	85.06	84.67
-20	92.16	91.77	91.37	90.98	90.59	90.19	89.80	89.40	89.01	88.62
-10	96.09	95.69	95.30	94.91	94.52	94.12	93.73	93.34	92.95	92.55
0	100.00	99.61	99.22	98.83	98.44	98.04	97.65	97.26	96.87	96.48
10	103.90	104.29	104.65	105.07	105.48	105.85	106.24	106.63	107.02	107.40
20	107.79	108.18	108.57	108.96	109.35	109.73	110.12	110.51	110.90	111.28
30	111.67	112.06	112.45	112.83	113.22	113.61	113.99	114.38	114.77	115.15
40	115.54	115.93	116.31	116.70	117.08	117.47	117.85	118.24	118.62	119.01
50	119.40	119.78	120.16	120.55	120.93	121.32	121.70	122.09	122.47	122.86
60	123.24	123.62	124.01	124.39	124.77	125.16	125.54	125.93	126.31	126.69
70	127.07	127.45	127.84	128.22	128.60	128.98	129.37	129.75	130.13	130.51
80	130.89	131.27	131.65	132.04	132.42	132.80	133.18	133.56	133.94	134.32
90	134.70	135.08	135.46	135.84	136.22	136.60	136.98	137.36	137.74	138.12
100	138.50	138.88	139.26	139.64	140.02	140.39	140.77	141.15	141.53	141.91
110	142.29	142.66	143.04	143.42	143.80	144.17	144.55	144.93	145.31	145.68
120	146.06	146.44	146.81	147.19	147.57	147.94	148.32	148.70	149.07	149.45
130	149.82	150.20	150.57	150.95	151.33	151.70	152.08	152.45	152.83	153.20
140	153.58	153.95	154.32	154.70	155.07	155.45	155.82	156.19	156.57	156.94
150	157.31	157.69	158.06	158.43	158.81	159.18	159.55	159.93	160.30	160.67
160	161.04	161.42	161.79	162.16	162.53	162.90	163.27	163.65	164.02	164.39
170	164.76	165.13	165.50	165.87	166.24	166.61	166.98	167.35	167.72	168.09
180	168.46	168.83	169.20	169.57	169.94	170.31	170.68	171.05	171.42	171.79
190	172.16	172.53	172.90	173.26	173.63	174.00	174.37	174.74	175.10	175.47
200	175.84	176.21	176.57	176.94	177.31	177.68	178.04	178.41	178.78	179.14
210	179.51	179.88	180.24	180.61	180.97	181.34	181.71	182.07	182.44	182.80
220	183.17	183.53	183.90	184.26	184.63	184.99	185.36	185.72	186.09	186.45
230	186.82	187.18	187.54	187.91	188.27	188.63	189.00	189.36	189.72	190.09
240	190.45	190.81	191.18	191.54	191.90	192.26	192.63	192.99	193.35	193.71
250	194.07	194.44	194.80	195.16	195.52	195.88	196.24	196.60	196.96	197.33
260	197.69	198.05	198.41	198.77	199.13	199.49	199.85	200.21	200.57	200.93
270	201.29	201.65	202.01	202.36	202.72	203.08	203.44	203.80	204.16	204.52
280	204.88	205.23	205.59	205.95	206.31	206.67	207.02	207.38	207.74	208.10
290	208.45	208.81	209.17	209.52	209.88	210.24	210.59	210.95	211.31	211.66
300	212.02	212.37	212.73	213.09	213.44	213.80	214.15	214.51	214.88	215.22
310	215.57	215.93	216.28	216.64	216.99	217.35	217.70	218.05	218.41	218.76
320	219.12	219.47	219.82	220.18	220.53	220.88	221.24	221.59	221.94	222.29
330	222.65	223.00	223.35	223.70	224.06	224.41	224.76	225.11	225.46	225.81
340	226.17	226.52	226.87	227.22	227.57	227.92	228.27	228.62	228.97	229.32
350	229.67	230.02	230.37	230.72	231.07	231.42	231.77	232.12	232.47	232.82
360	233.17	233.52	233.87	234.22	234.56	234.91	235.26	235.61	235.96	236.31
370	236.65	237.00	237.35	237.70	238.04	238.39	238.74	239.09	239.43	239.78
380	240.13	240.47	240.82	241.17	241.51	241.86	242.20	242.55	242.90	243.24
390	243.59	243.93	244.28	244.62	244.97	245.31	245.66	246.00	246.35	246.69
400	247.03	247.38	247.73	248.07	248.41	248.76	249.10	249.45	249.79	250.13
410	250.48	250.82	251.16	251.50	251.85	252.19	252.53	252.88	253.22	253.56
420	253.90	254.24	254.59	254.93	255.27	255.61	255.95	256.29	256.63	256.97
430	257.32	257.66	258.00	258.34	258.68	259.02	259.36	259.70	260.04	260.38
440	260.72	261.06	261.40	261.74	262.08	262.42	262.76	263.10	263.44	263.77
450	264.11	264.45	264.79	265.13	265.47	265.80	266.14	266.48	266.82	267.15
460	267.49	267.83	268.17	268.50	268.84	269.18	269.51	269.85	270.19	270.52
470	270.86	271.20	271.53	271.87	272.20	272.54	272.88	273.21	273.55	273.88
480	274.22	274.55	274.89	275.22	275.56	275.89	276.23	276.56	276.89	277.23
490	277.56	277.90	278.23	278.56	278.90	279.23	279.56	279.90	280.23	280.56
500	280.90	281.23	281.56	281.89	282.23	282.56	282.89	283.22	283.55	283.89

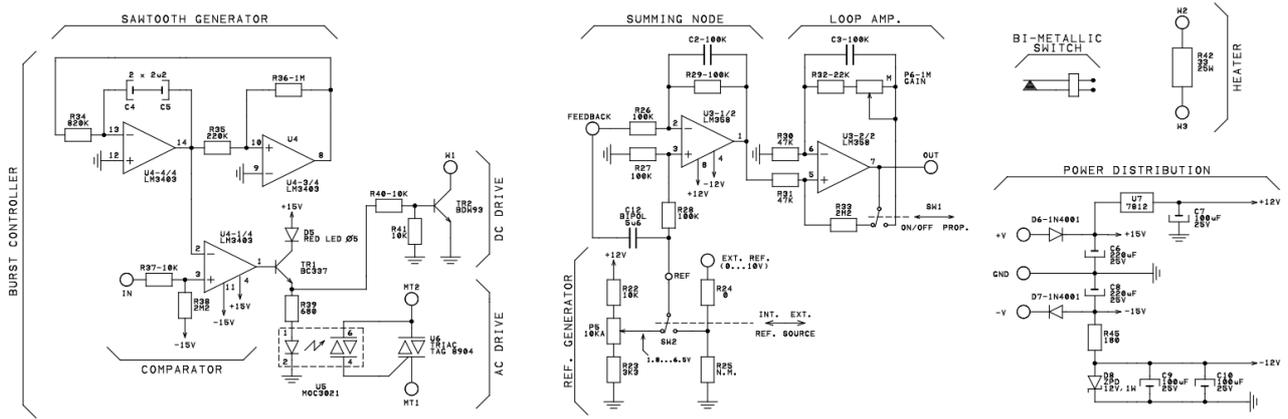
Figure(II.4) :La valeur des résistances (Ω) pour les Thermo résistances Pt100 (DIN43760)

II.3.3. Amplificateur thermocouple, AmplificateurCTN, Amplificateur CTP:



Figure(II.5): les schémas électrique des différents amplificateurs.

Ces blocs ont les fonctions d’amplifier, linéariser et conditionner les signaux des trois types de capteurs de température. Les blocs fournissent une sortie en tension qui reflète la température détectée. Le facteur de conversion tension/température est de 100mV/°C nominal, dans la plage d’environ 10 à 60°C. Cela signifie qu’une indication de la tension de 2.5V doit indiquer une température mesurée de 25°, etc...



Figure(II.6): les schémas électrique des différents blocs.

II.3.4.Générateur de référence:

Il se compose d'un potentiomètre délivrant une tension continue dont la valeur reflète la température désiré pour le four avec un taux de conversion de 100mV/°C. Le commutateur SW2 permet de sélectionner latension générée à bord ou une source externe appliqué à la prise "EXT. REF."comme référence pour le système de contrôle.

II.3.5.Nœud de sommation:

C'est en effet un nœud de soustraction dans lequel une tension est générée égale à la différence entre la valeur de température choisie (référence) et la température mesurée (conditionneur du signal du capteur).

La sortie de ce bloc est le Signal d'ERREUR qui est envoyé en entrée à l'amplificateur de boucle.

II.3.6.Amplificateur de boucle:

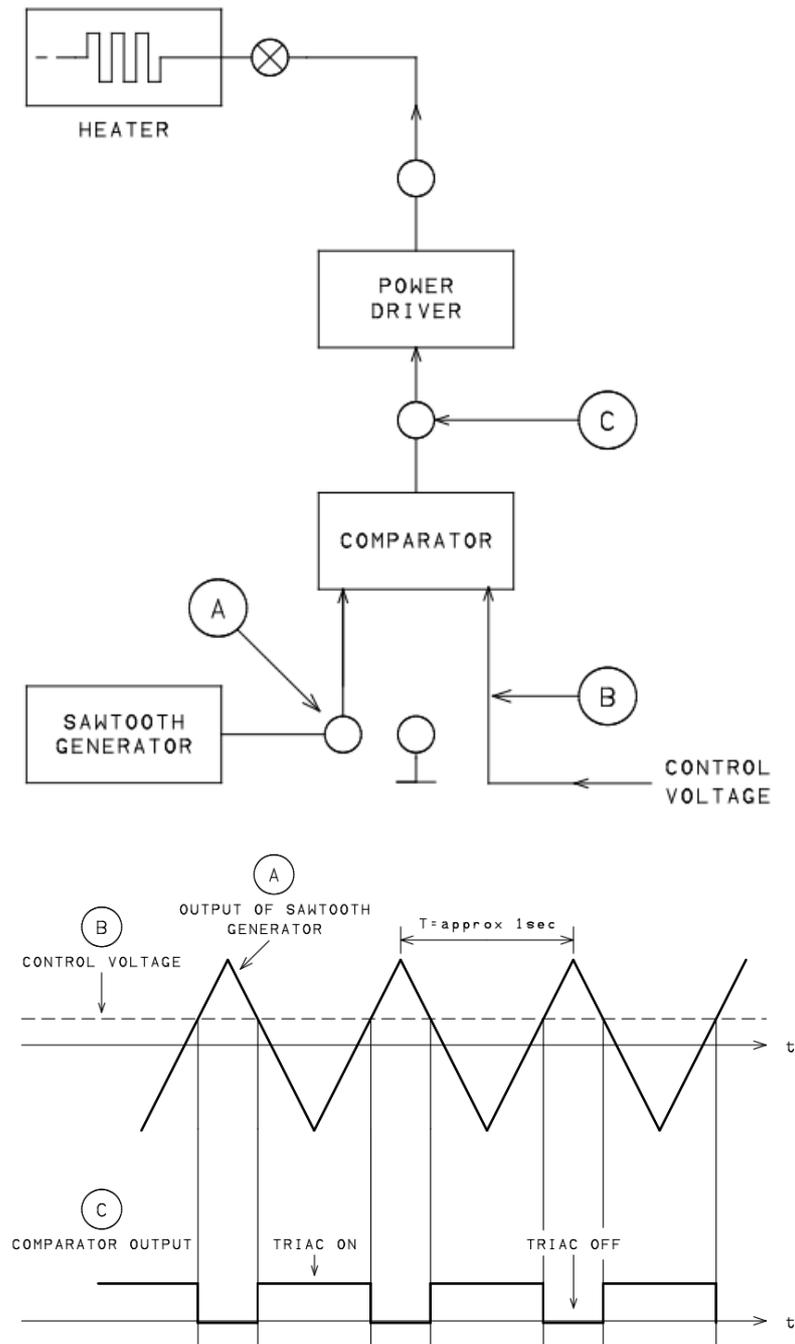
C'est un amplificateur à gain réglable pour réaliser l'action de contrôle.

P6 permet de régler l'amplification, tandis que le commutateur SW1 ouvre le réseau de contre-réaction de l'amplificateur en le transformant ainsi en un Comparateur. Cela est fait pour faire travailler le système de contrôle en mode ON-OFF.

II.3.7.Contrôle de rafale (BURST):

C'est le noyau du pilote de puissance pour l'élément de chauffage. Pour expliquer le fonctionnement de cet étage commençons à noter que ce panneau est fourni avec un pilote de l'élément de chauffage, en courant continu constitué d'un transistor de puissance (TR2) est allumé en rafales ayant un taux de répétition d'environ 1 sec.

Dans chaque cycle d'1-Sec le dispositif de puissance est allumé pour une fraction de cycle de 0 à 100%. Ceci est fait comme suit (se référer à Fig.II.7)



Figure(II.7):Fonctionnement de l'unité de chauffage.

Le Générateur de Dent de Scie délivre une rampe qui apparaît comme (A) dans laFigure.II.7. Ce signal est envoyé à une entrée d'un comparateur, dont l'autre entrée reçoit un signal du sélecteur S4-ON/OFF-PROPORTIONAL.

En supposant que SW1 est fixé pour le mode de fonctionnement proportionnel, ce est active pour les fractions de cycle dans lequel le niveau continu (B) dépasse le niveau de la rampe, et la sortie du comparateur apparaît comme (C).

Il est clair que lorsque le signal des capteurs augmente, le niveau continu (B) tombe et la longueur de conduction de la rafale se rétrécit, par conséquent moins de puissance est fournie à la charge. Cela permet le fonctionnement avec rétroaction négative.

Quand SW1 est dans la position ON/OFF, le signal (B) devient un niveau logique qui peut seulement être BAS ou HAUT. Le dispositif de puissance est en conséquence complètement conducteur (ON) ou ouvert (OFF).

II.3.8. Pilote de puissance en courant continu:

Comme déjà mentionné ce bloc essentiellement fonctionne comme interrupteur pour la puissance à livrer à l'élément de chauffage.

II.4. Contrôle de boucle:

Dans cette section nous passerons en revue quelques aspects importants concernant les performances des systèmes de contrôle en boucle. Les amplificateurs de conditionnement du signal TC et CTN sont représentés. La fonction de ces blocs a déjà été décrite. Evidemment l'indication de la tension de sortie de ces deux blocs sera affectée par des erreurs dont les causes principales sont:

- Manque de précision des capteurs.
- Approximations dans l'algorithme de linéarisation.
- Possibles ajustements incorrects du circuit (décalage et gain).

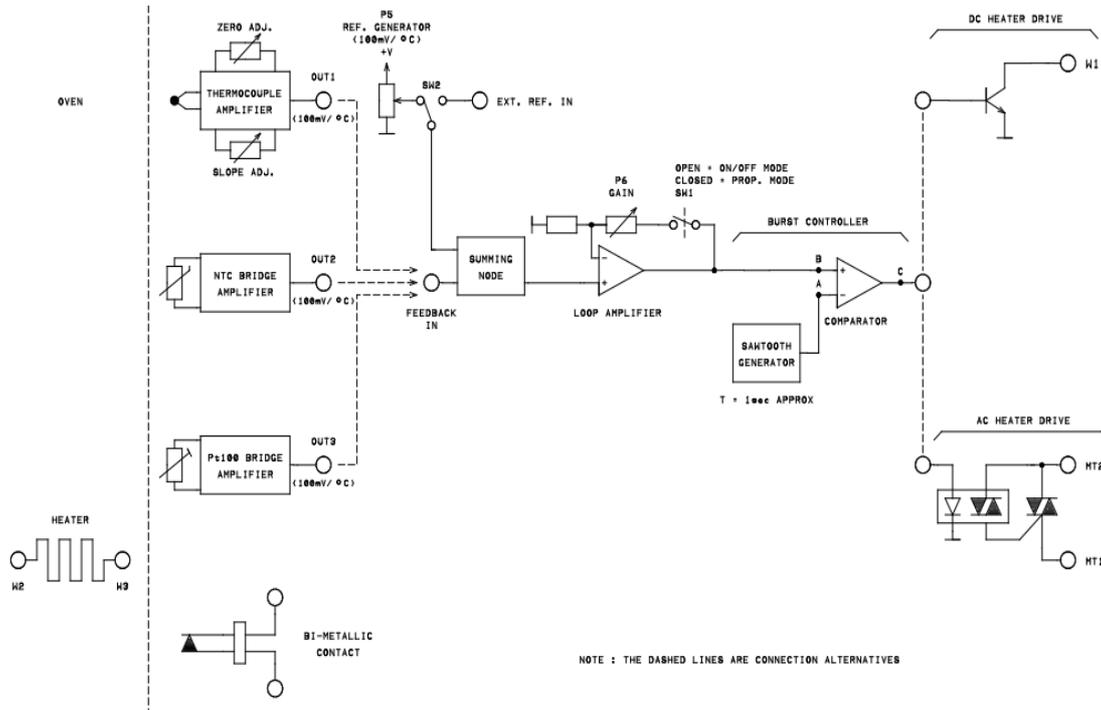
Ces causes d'erreur sont communes à tous les systèmes réels et dans chaque type de système elles sont combattues selon le cas et la précision de régulation souhaitée.

Ces causes d'erreur ont une chose en commun: elles affectent la soi-disant "Précision en Régime Permanent du système". Un système dont la référence est fixée à 32°C peut être découvert pour être à, disons, 27° ou 39° à cause de ce type d'erreurs.

D'autres facteurs liés au dimensionnement, à la forme, aux contraintes de construction du système four/capteur affectent la soi-disant "Précision en Régime Transitoire" du système de contrôle. Des aspects très importants des performances du système découlent de ces facteurs, tels que la réponse rapide/lente aux changements de référence ou aux perturbations et même la stabilité. Pour clarifier cela avec un exemple, supposons que le four de notre unité didactique soit construit sous la forme d'une tige bien plus longue, avec l'élément de chauffage près d'une extrémité et les capteurs placés à proximité de l'autre extrémité.

Supposer qu'à un certain moment les capteurs détectent une température inférieure à la référence: l'élément de chauffage sera alimenté avec un niveau de puissance accru. Puisque la chaleur prend un certain temps à s'accumuler dans le dissipateur et à se propager vers les capteurs, ceux-ci continuent à détecter une basse température et demandent de fournir de la puissance à l'élément de chauffage. Il peut arriver que quand enfin la chaleur atteint les capteurs ils détectent une température excessive et pourtant ils commandent de réduire la puissance à l'élément de chauffage.

Encore une fois cette réduction peut être jugée excessive quelque temps plus tard par les capteurs, et le cycle est donc répété.



Figure(II.8): bloc diagramme du module de commande de température

Ce mode de fonctionnement cyclique peut s'éteindre après un certain temps ou même être permanent. Dans le premier cas le système sera dit "peu amorti" puisque il répond à des changements des conditions de fonctionnement avec des dépassements significatifs, au-delà et en-deçà, de la variable contrôlée (la température).

Dans le second cas le système est dit instable. L'instabilité peut évidemment être très dangereuse en systèmes réels (pas dans ce modèle didactique). Pensez par exemple à l'instabilité dans un grand réservoir produisant la vapeur d'une centrale Thermoélectrique.

Pour en revenir à notre exemple ci-dessus, il y a quelques concepts importants qui peuvent en être tirés, qui sont applicable à tout système de contrôle en boucle:

- Le premier est que le retard entre l'entrée (puissance fournie à l'élément de chauffage) et la sortie (température ressentie par les capteurs) peut être une source primaire d'oscillations et peut être contrasté dans une certaine mesure par une construction plus soignée du système four/capteur.
- Les effets de retard peuvent également être réduits en limitant la puissance fournie à l'élément de chauffage pour une différence donnée entre la température détectée et celle établie comme référence. Cela implique le concept de GAIN DE BOUCLE.

Tous les systèmes réels ont des retards entre la variable de contrôle et celle contrôlée et tout système réel deviendra instable si le Gain de Boucle est augmenté au-delà d'un certain niveau.

- Dans notre exemple, une autre façon de stabiliser le système serait de répondre aux signaux des capteurs en fournissant la puissance lentement et progressivement. Cela implique le concept de compensation de fréquence dans la boucle de contrôle, c'est à dire l'introduction d'un retard exprès qui est comparable à celui inévitable. Ceci est fait d'habitude au moyen de réseaux de stabilisation dans le contrôleur.

II.5. Les essais pratique:

II.5.1. Fonctionnement du système de contrôle dans le mode TOUT OU RIEN, avec le pilote en courant continu.

- 1) Référence minimale pré réglable: 1.7V (c'est à dire 17°C).
- 2) Référence maximale pré réglable: 6V (c'est à dire 60°C).
- 3) Quand le four est à 30°C (par exemple) la transition OFF→ON se produit typiquement quand la référence est augmentée à 3.25V. La transition ON→OFF se produit quand la référence est diminuée à 2.75V.

Ceci est en ligne avec l'hystérésis appliquée au comparateur U3 par les résistances R31 et R33:

Supposons que la sortie de U3 soit haute (+12V):

$$\text{hystérésis} = 12V \cdot R31 / (R33 + R31) = 251\text{mV} \rightarrow 2.5^\circ\text{C}.$$

Le même résultat est observé en laissant une référence constante et en surveillant la température avec un multimètre à la sortie OUT1 du circuit TC.

Quand la température d'allumage est (par exemple) 40°C, la température d'extinction est d'environ 37°C.

II.5.2. Fonctionnement du système de contrôle dans le mode TOUT OU RIEN avec le pilote en courant alternatif.

Cet exercice est essentiellement une étude fonctionnelle du circuit. Après cet exercice l'étudiant devrait être en mesure de répondre à des questions comme les suivantes:

– Supposons que la référence soit fixée à 40°C et que dans ces conditions d'équilibre l'élément de chauffage s'allume pendant 1 minute (par exemple) et reste éteint pour 2 minutes. Que peut-on s'attendre si de l'air est constamment soufflée sur le dissipateur?

(Réponse: le temps d'allumage reste plus ou moins inchangé, le temps d'extinction devient plus court).

– Supposons que le rapport ON/OFF soit 1 minute ON, 2 minute OFF à 30°C. Comment sont susceptibles de changer à 60°C?

(Réponse: le temps ON reste presque inchangé. Le temps OFF est plus court puisque le four perd de la chaleur plus rapidement à des températures plus élevées).

– Décrire en forme narrative le fonctionnement d'un chauffe-eau domestique.

II.5.3. Fonctionnement du système en mode proportionnel, avec pilotes en courant continu et alternatif.

Des résultats typiques:

– Lorsque la référence est fixée à 35°C (à partir d'un four à température ambiante) et le gain de boucle est au minimum, la condition d'équilibre de la température est atteinte en env. 6 minutes. L'erreur en régime permanent est de 8°C (température effective inférieure à la référence).

- Dans les mêmes conditions que ci-dessus mais avec le bouton du gain à mi-course, l'erreur se réduit à environ 4°C (valeur réelle inférieure à la référence).
- Dans les mêmes conditions mais au gain maximum, l'erreur moyenne est d'env. 1.5°C (plus faible que prévu).
- Quand la référence change brusquement de 2.5V à 3.0V, le système réagit comme suit (avec le pilote en courant continu):

GAIN	TEMPS DE STABILISATION	DEPASSEMENT
Minimum	6 minutes	aucun
mi-course (2.5)	minutes	négligeable (~1°C)
complètement	horaire (4.7) 4 minutes	4°C.

II.5.4. Caractéristiques des transducteurs de température et des circuits de conditionnement du signal pertinents.

Un tracé typique des caractéristiques des 3 dispositifs, telles que mesurées à OUT1, OUT2, OUT3 sont montrées dans la page suivante (fig.9).

Noter que ce n'est qu'un exemple. Le comportement réel dépend des réglages du circuit.

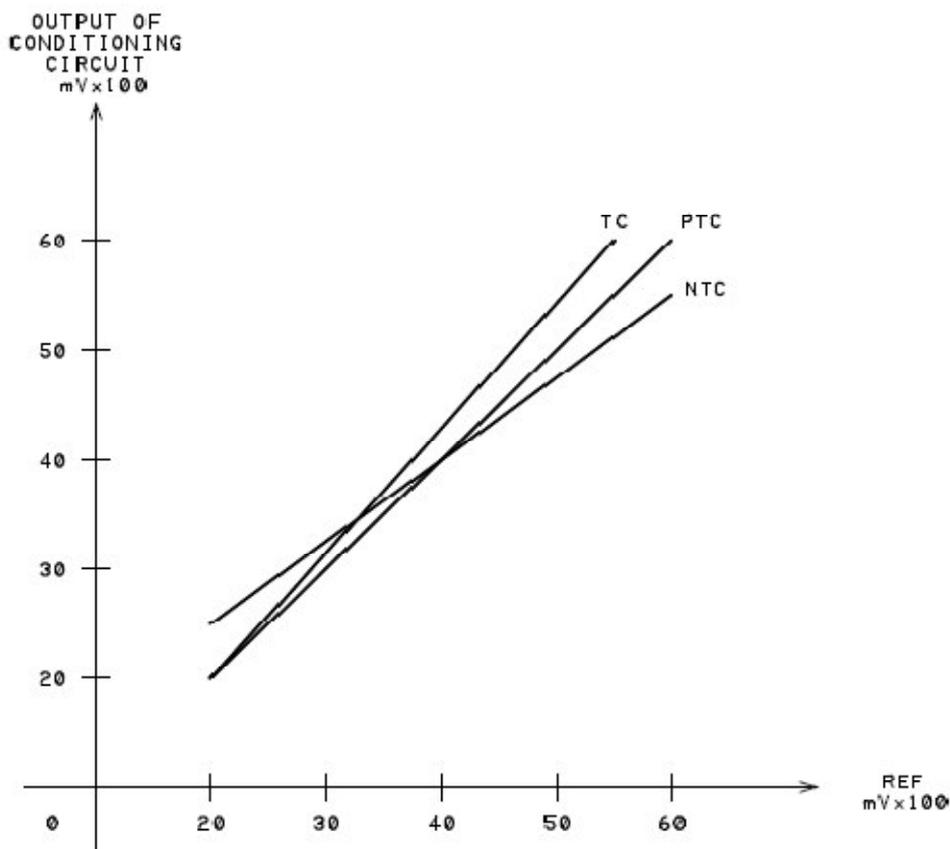


Figure (II.9) : Le tracer typique des Caractéristiques des transducteurs de température et des circuits de conditionnement du signal pertinents

II.5.5. Calibrage des circuits d'interface des transducteurs.

Ce travail a pour but de laisser que l'étudiant pratique la précision et le fonctionnement ordonné des procédures.

Aucun résultat numérique n'est prévu, toutefois la procédure de réglage ne devrait pas avoir pour résultat des caractéristiques trop différentes de celles de la (Fig.9).

II.5.6. Essais de fonctionnement du contrôleur de rafale et le pilotage en courant continu :

Le but de cette expérience est de trouver la relation entre le signal de commande et le signal MLI.



Figure (II.10) : Schéma de fonctionnelle de la commande MLI

Remarque :

Dans toutes les expériences qui suit la chaine N°1 représente le signal de commande de Cmd et la chaine N°2 représente le signal mesurée dans W3 qui est générer au niveau dupilote C.C.

- Essai 1: Cmd = -2.7V et Ch2 = 15V

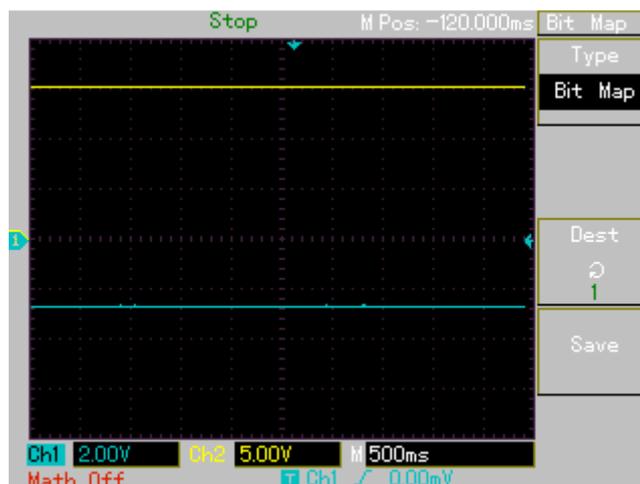


Figure (II.11) : Le fonctionnement on mode OFF

Si Cmd < - 2.7V le système fonctionne on mode OFF.

- Essai 2: Cmd = 0V

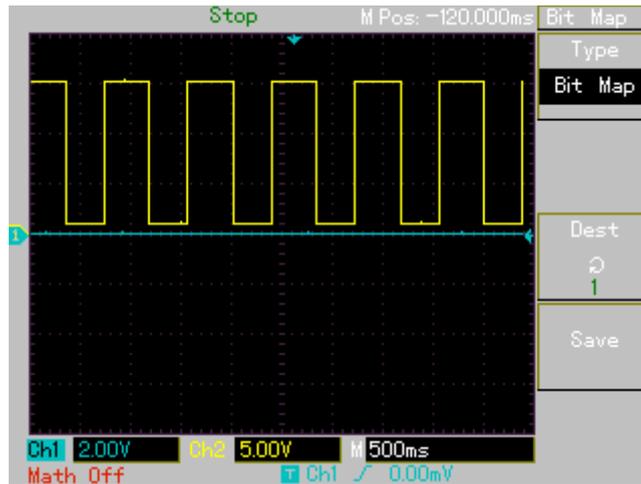


Figure (II.12) : Le fonctionnement on mode ON/OFF

Le rapport cyclique est 50% ON et 50% OFF.

- Essai 3 : Cmd = 3V

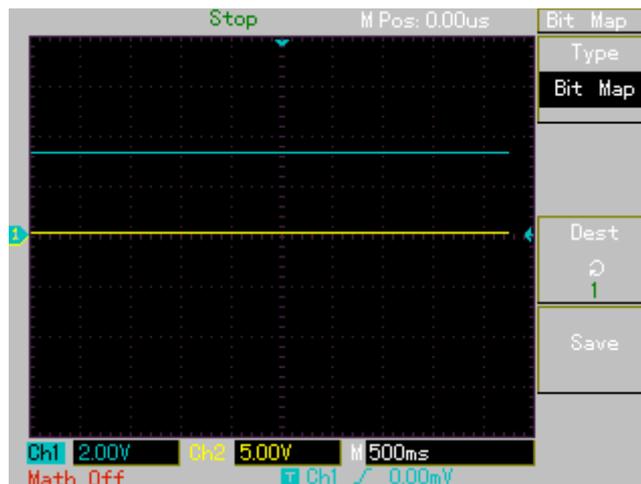
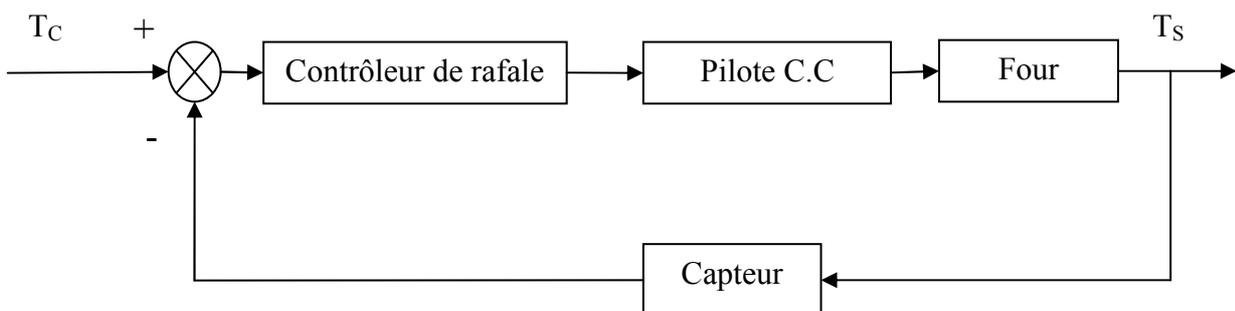


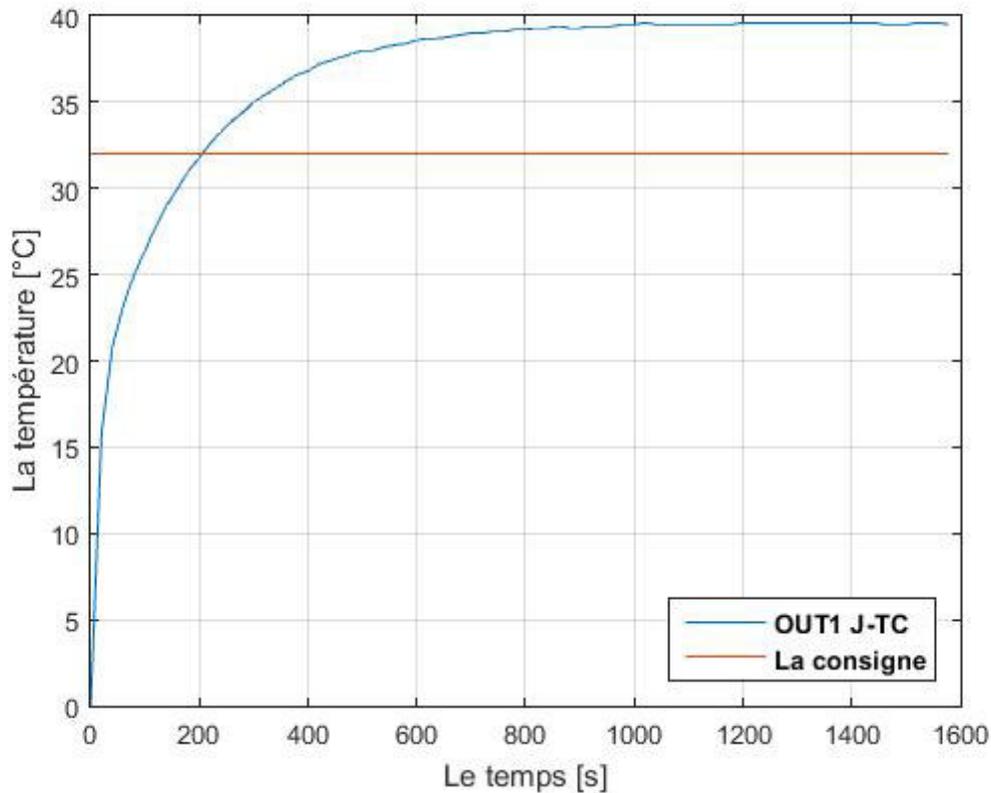
Figure (II.13) : Le fonctionnement on mode ON

Si Cmd > 3V le système fonctionne on mode ON.

II.5.7. Essais de fonctionnement du système en boucle fermés BF :



Figure(II.14) : schéma de fonctionnement en boucle fermée



Figure(II.15) :La réponse du système en boucle fermés BF

Commentaires:

Lorsque la référence est fixée à 32°C (à partir d'un four à température ambiante) et le gain de boucle est au minimum, la condition d'équilibre de la température est atteinte en env. 17 minutes. L'erreur en régime permanent est de 7.5°C

II.6.Conclusion :

Dans ce chapitre on a décrit le principe de fonctionnement du module B3510-A avec des applications en boucle ouvert et on boucle fermée.

Dans le chapitre suivant nous allons exposer la conception de notre régulateur de température B3510-E pour diminuer l'erreur statique.

Chapitre III La régulation du système

III.1.Introduction:

En science expérimentale, la prise d'une mesure est toujours une opération délicate. Pour la température, par exemple, qui est une notion fondamentale de physique, on fait appel à des techniques de mesure de plus en plus élaborées, dans le but d'avoir des résultats fiables et pour notre cas le problème est de garder un certain niveau de température dans

Dans ce chapitre nous allons présenterle module contrôleur de processus et la régulation de la température.

III.2.Description du système :

-Le module CONTROLEUR DE PROCESSUS (figureIII.1) comprend:

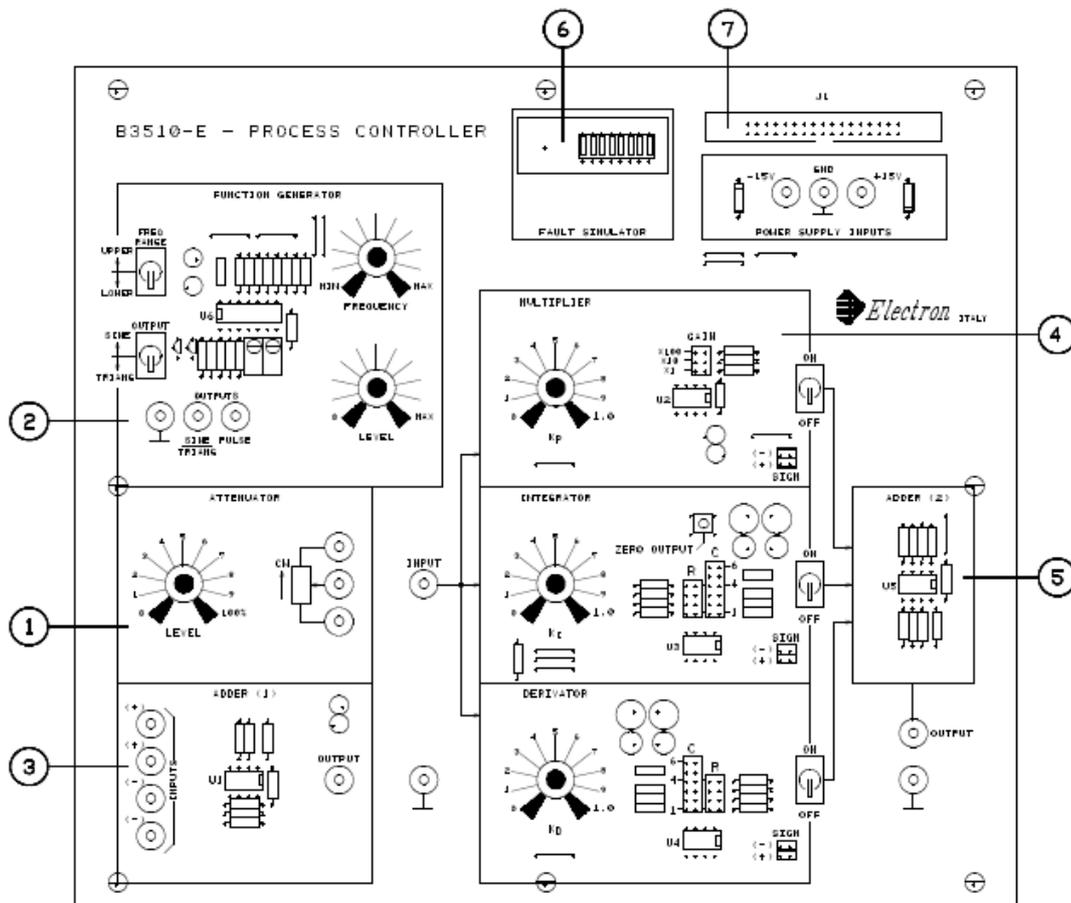


Figure (III.1) : B3510-E – Contrôleur de processus

- Le module CONTROLEUR DE PROCESSUS (fig.2) comprend:
- Des équipements auxiliaires pour l'exécution des expériences:
 - 1) Potentiomètre (générateur de référence)
 - 2) Générateur de fonctions délivrant des signaux sinus/triangle/carré, réglables en fréquence et en amplitude
- Des blocs pour mettre en œuvre des contrôleurs de configurations différentes:
 - 3) Nœud de sommation à 2 entrées, sorties complémentaires
 - 4) Contrôleur à trois termes, configurable comme régulateur P, PI, PD et PID. Les 3 termes peuvent être exclus et réglés séparément

5) Additionneur de sortie pour les termes P, I, D

➤ D'autres équipements didactiques:

- 6) Simulateur de pannes, constitué d'un réseau de 8 micro switches cachés par un couvercle amovible. Le but est de former les étudiants dans les techniques de dépannage
- 7) Connecteur pour l'option B1178 – Interface au PC pour la Simulation de Pannes. Le B1178, si fourni, permet la programmation des pannes via un PC par l'instructeur et la recherche des pannes assistée par ordinateur pour l'étudiant.

Les deux panneaux sont mis en œuvre avec les composants accessibles et visibles depuis la face avant. Des prises sont fournies pour les essais et pour le câblage entre les modules. Les deux panneaux sont conçus pour être utilisés ensemble et ne nécessitent pour leur fonctionnement que de l'instrumentation standard suivante:

- Alimentation $\pm 15V$, 300mA, stabilisée
- Oscilloscope double trace, du type à mémoire de préférence
- Multimètre numérique

Les panneaux sont livrés avec des accessoires comme des câbles enfichables de différentes longueurs et couleurs et avec le présent manuel d'instructions.

III.3.La régulation du système :

III.3.1.Essais de régulateur proportionnelle (P) :

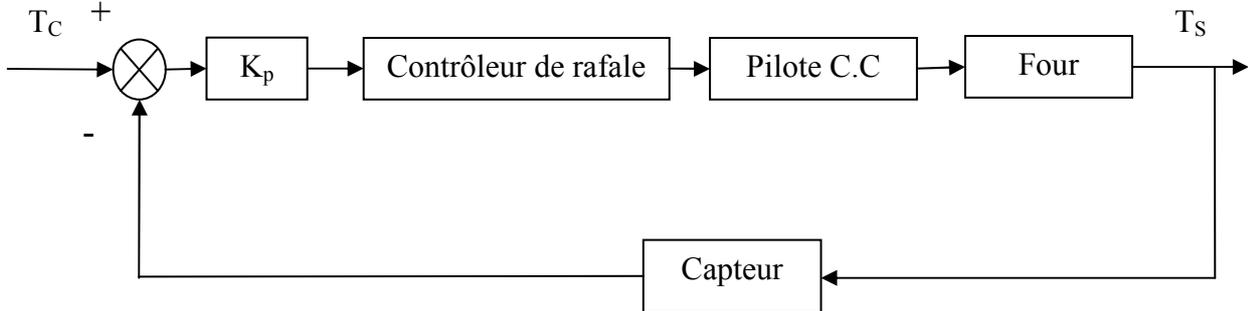


Figure (III.2) :schéma de fonctionnement de régulateur P

Dans cette expérience on a utilisé le régulateur Proportionnelle pour une référence de 32°C avec les paramètres suivantes: $K_p = 0.5$ et gain = x100.

La réponse du système été comme suite :

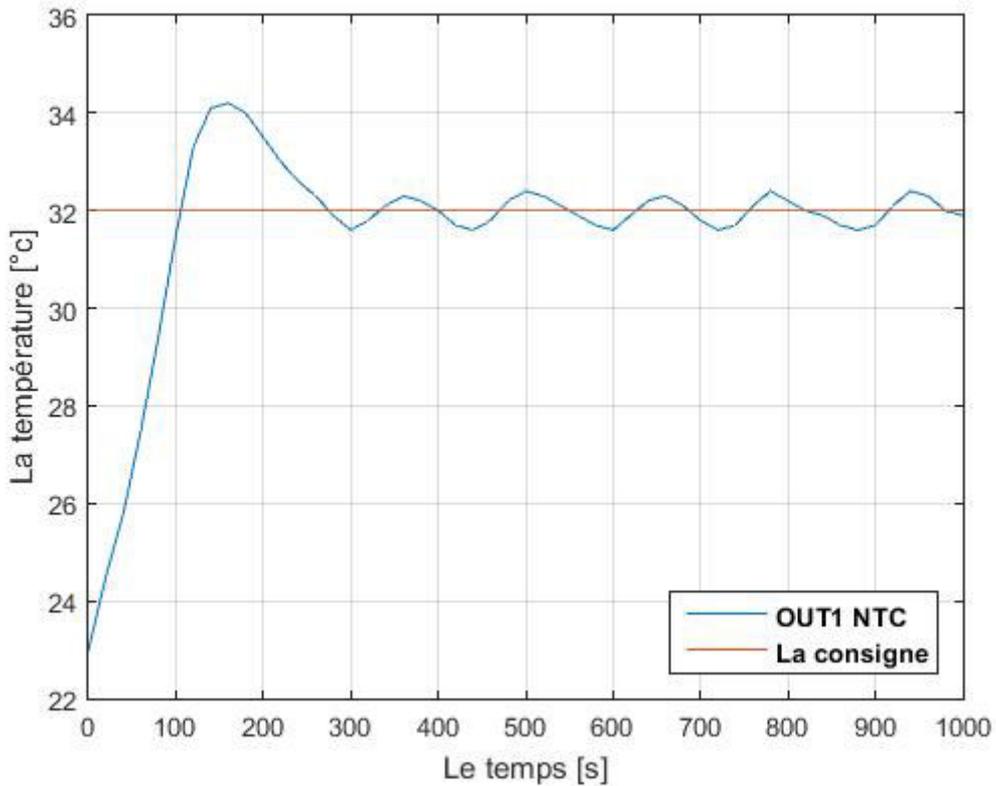


Figure (III.3) :La réponse du système par le régulateur Proportionnelle

Commentaires :

Dans cette expérience on a ajouté un gain K_p a la boucle fermée et on remarquer que le système a fait un dépassement de 2°C et après 5min il entre au régime transitoire.

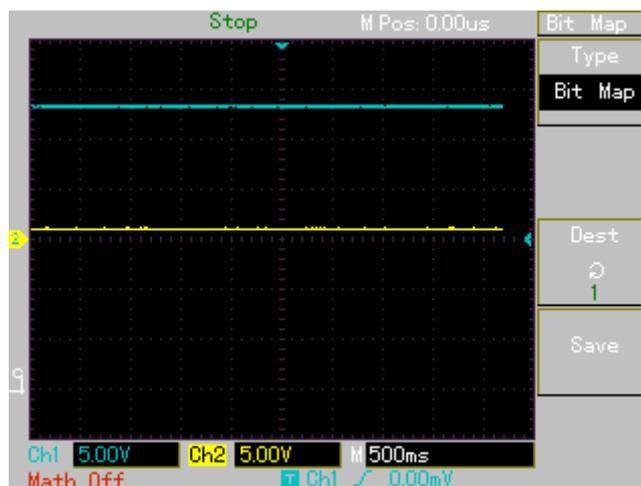


Figure (III.4) :la commande on mode ON

Fonctionne on Mode ON pout chauffer le Fouret on remarque que l’amplitude du signal de commande est égale a +14V.

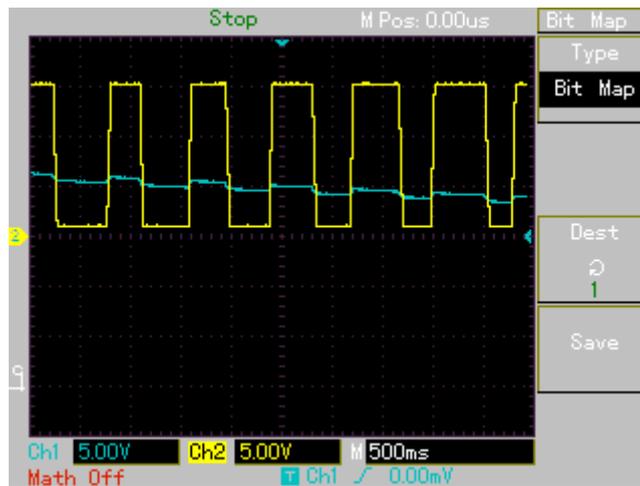


Figure (III.5) : la commande on mode ON/OFF

Le système fonctionne on Mode ON/OFF quand l'erreur est devenue plus petite ($T_C - T_S = \varepsilon > 0$) pour ne pas faire un grand dépassement.

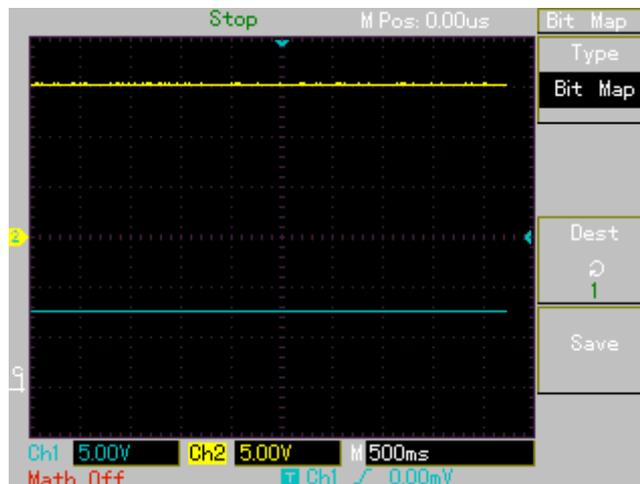


Figure (III.6) : la commande on mode OFF

Le système fonctionne on Mode OFF quand la sortie out_2 est devenue plus grand que la référence ($T_C - T_S = \varepsilon < 0$) pour refroidir le Four, On remarque que l'amplitude du signal de commande est égale a -8V.

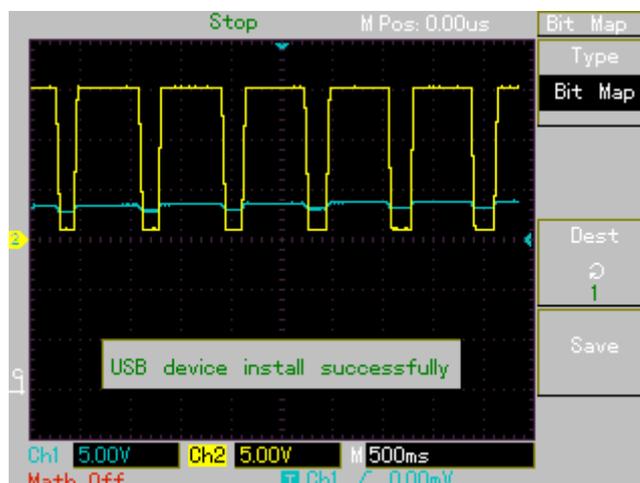


Figure (III.7) : la commande on mode ON/OFF

Le system fonctionne on mode ON/OFF pour réchauffera le Four lentement ($T_{ON} \approx 0.2s$ et $T_{OFF} \approx 0.8s$ pour chaque cycle de $T=1s$)

III.3.3.Essais de régulateur proportionnelle-Intégral (PI):

Dans cette expérience on a utilisée le régulateur Proportionnelle-Intégrale et pour une référence de $40^{\circ}c$ avec les paramètres suivantes: $K_p = 0.6$ et gain = x100. $K_i = 0.25$

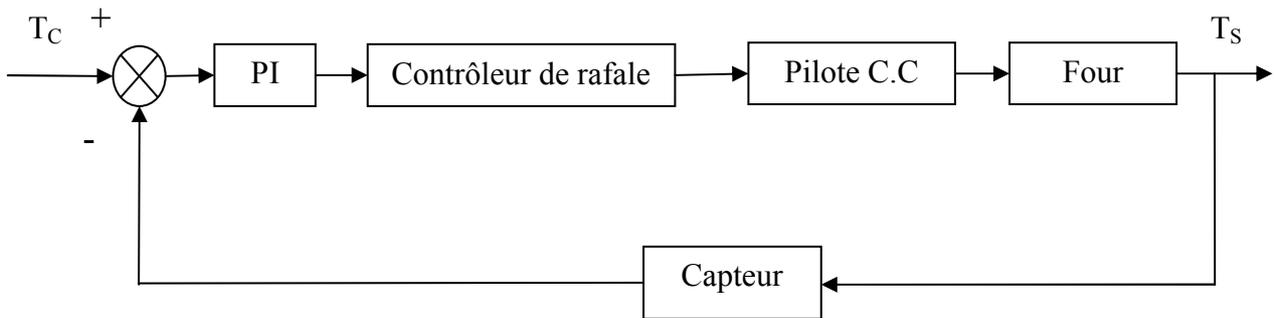


Figure (III.8) : schéma de fonctionnement de régulateur PI

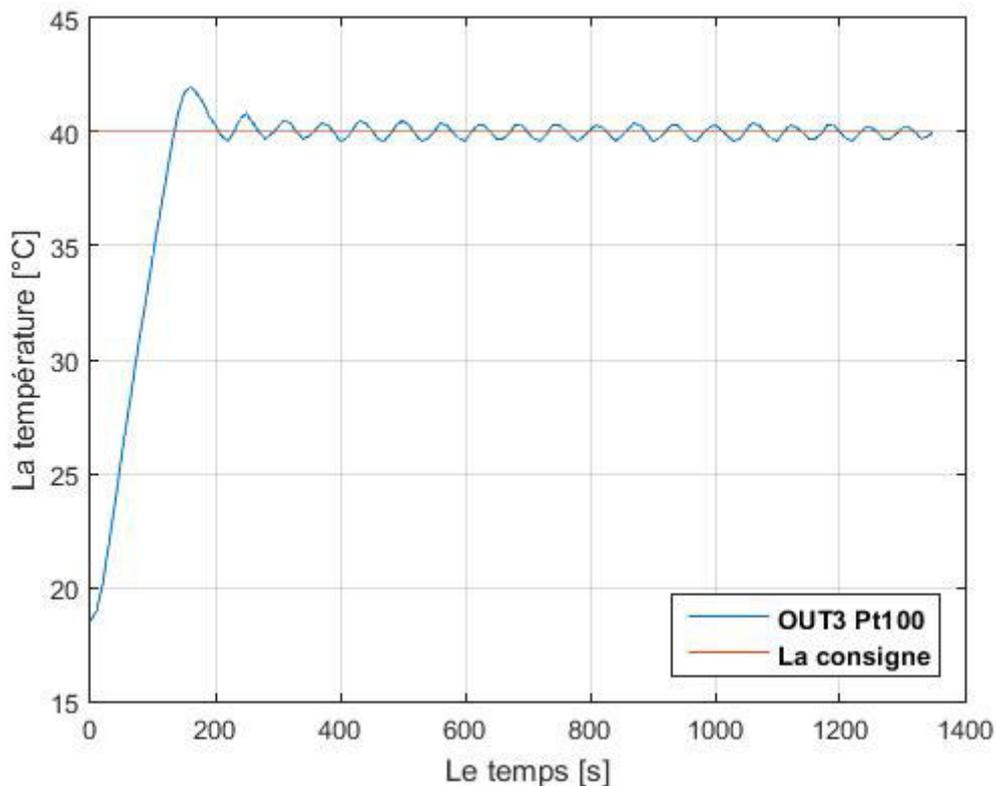


Figure (III.9) : schéma de fonctionnement de régulateur PI

Commentaires:

On remarque que le système a fait un dépassement de 2°C et après 4min il entre au régime permanent.

La chaîne N°1 représente le signal de commande de PI et la chaîne N°2 représente le signal mesuré dans W3 qu'est généré dans DC Drive.



Figure (III.10) : la commande on mode ON

Le système fonctionne on Mode ON pour chauffer le Four.

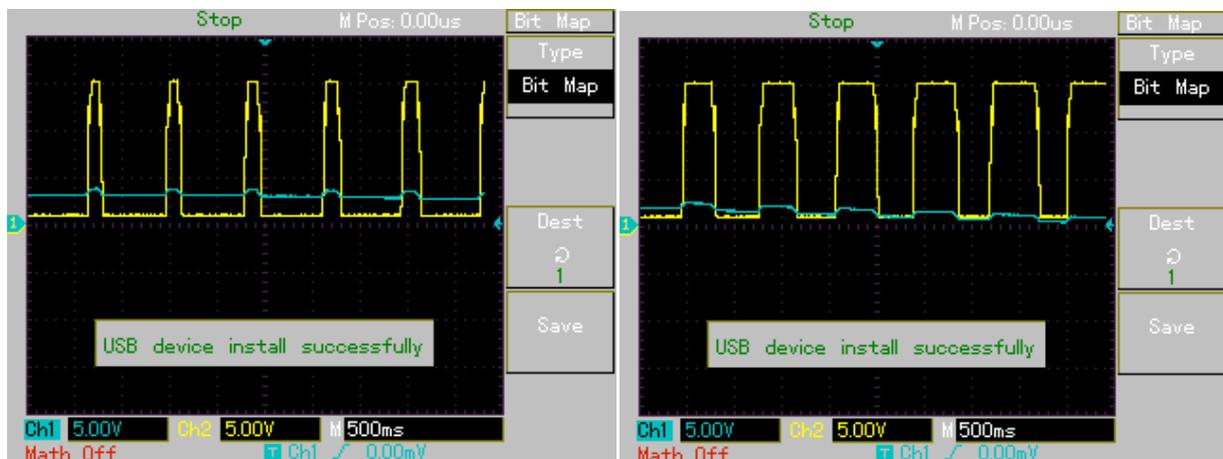


Figure (III.11) : la commande on mode ON/OFF

Le système fonctionne on Mode ON/OFF quand l'erreur est devenue petite ($T_C - T_S = \varepsilon > 0$) pour ne pas faire un grand dépassement.

Le système fonctionne toujours on Mode ON/OFF mais cette fois quand l'erreur est devenue plus proche de zéro.

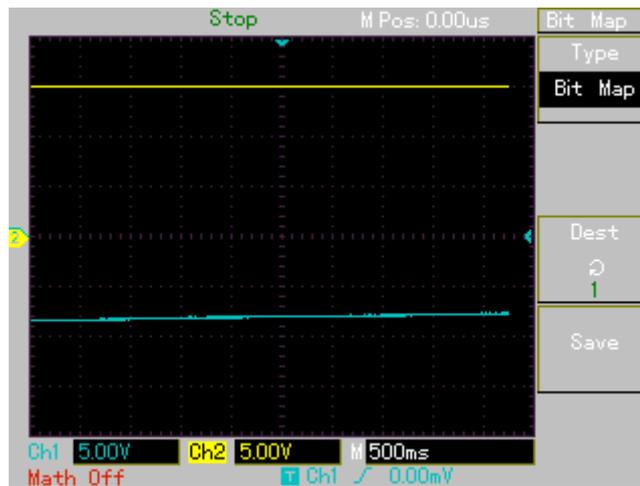


Figure (III.12) : la commande on mode OFF

Le système fonctionne on Mode OFF quand la sortie out_2 est devenue plus grand que la référence ($T_C - T_S = \epsilon < 0$) pour refroidir le Four.

III.4.Conclusion:

Dans ce chapitre on a présenté notre module contrôleur de processus B3510-E et on a régulé le système par deux types de régulateurs: régulateur proportionnelle (P) et régulateur proportionnelle-Intégral (PI).

Conclusion générale

Conclusion générale

Pour notre projet de fin d'étude l'objectif été de réguler un système de température à l'aide d'un PID.

Et pour cela nous avons utilisé les matériels disponibles dans le laboratoire :

Module nécessaire pour le fonctionnement de la même Alimentation (B3510-BU).

Un modèle de système de contrôle de température B3510-A.

Un modèle de Contrôleur de processus B3510-E.

Le premier chapitre on a rappelé les définitions et les notions de bases sur la régulation dans les systèmes asservis, Le deuxième chapitre on a calibrés les circuit de conditionnement des deux capteurs (J-TC et Pt100) pour assurer la précision de la réponse, après ca on a fonctionné le système en boucle ouvert et fermée, nous avons bien entendu que le système B3510-A est instable par ce que le dépassement été très grand et l'erreur aussi été supérieur a la consigne, ce qui exige l'utilisation d'un régulateur PID, et dans le troisième chapitre on a introduit un régulateur Proportionnel a la BF le système est devenue stable et avec l'utilisation du régulateur proportionnel-intégral la réponse sa devient presque parfaite parce que l'erreur statique en régime permanent devient $\pm 2\%$.

Cependant, ce système reste à améliorer, et donc nous proposons comme travail futur :

- ✓ L'identification du modèle de système a l'aide d'une méthode empirique.
- ✓ L'utilisation d'un régulateur PID numérique avec une carte Arduino ou un microcontrôleur.
- ✓ Améliorer la valeur des paramètres du PID à partir des algorithmes d'optimisation comme la logique floue ou les colonies de Fourmies artificiel.

Bibliographie

Bibliographie

- [1] *Bonabeau, E. and Theraulaz, G. (1994). Intelligence Collective. Hermes.*
- [2] livre :Automatique (contrôle et régulation : *patrick prouvost*)
- [3] Régulation automatique (*Prof. Michel ETIQUE, mars 2007, Yverdon-les-Bains*), *Haute Ecole d'Ingénierie et de Gestion du canton de Vaud (HEIG-VD)* , p164 ,172 ,179-180.
- [4] *Vincent Courboulay ,Analyse et Contrôle de Systèmes Linéaires Continus , Université de La Rochelle ,p 54-55,58.*

Les sites Internet

- [5]<http://btscira.perso.sfr.fr/page1/page64/page64.html>
- [6]<http://www-hadoc.lag.ensieg.inpg.fr/hadoc/continu/n00/dtm.htm>
- [7]http://fr.wikipedia.org/wiki/Choix_des_boucles_de_r%C3%A9gulation PDF boucle de régulation
- [8] <http://www.scribd.com/doc/35039799/112/a-Methode-de-Ziegler-Nichols>
- [9] <http://www.electron.it/>

Résumé :

La régulation est un système automatique qui permet de maintenir une consigne, température de chauffage par exemple, quelles que soient les perturbations : ouvertures de fenêtres, changements de température extérieure,

Que ce soit en chauffage ou en climatisation, la régulation de température est essentielle au confort des individus ou d'un process industriel (exemple régulation d'une climatisation d'un Datacenter). En s'adaptant à l'occupation des locaux, la régulation réalise des économies d'énergie en abaissant par exemple le point de consigne, en programmant des températures d'inoccupation prolongée, du hors gel,....

La régulation ne s'arrête pas au chauffage ou à la climatisation, elle régit toute sorte de systèmes où une boucle réactive de fonctionnement est requise.

Resume :

Control is an automatic system that maintains a set, heating temperature, for example, regardless of the disturbances: window openings, outside temperature changes

Whether heating or cooling, température control is essential to comfort individuals or industrial processes (eg control of cooling a data center). The regulation achieves energy savings by lowering eg setpoint, by scheduling prolonged vacancy temperatures, frost,

The regulation does not stop heating or air conditioning, it governs all kinds of systems where a reactive loop operation is required.

الخلاصة:

السيطرة هو نظام آلي يحافظ على درجة الحرارة في غرفة التدفئة على سبيل المثال، بغض النظر عن الاضطرابات: فتحات النوافذ، التغيرات في درجات الحرارة الخارجية

سواء للتدفئة أو التبريد، التحكم في درجة الحرارة ضروري لراحة الأفراد أو العمليات الصناعية (مثل التحكم في تبريد مركز البيانات). تنظيم درجة الحرارة يوفر الطاقة المستهلكة عن طريق خفض درجة الحرارة المضبوطة مسبقا.

التنظيم لا يتوقف التدفئة أو تكييف الهواء، ويتحكم في جميع أنواع الأنظمة التي تتطلب عملية حلقة رد الفعل.