

43/83

FILIERE D'INGENIEUR EN

II - ELECTRONIQUE

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
BIBLIOTHEQUE — المكتبة  
Ecole Nationale Polytechnique

PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET : Etude et réalisation de la régulation de température d'échantillons du diélectrique pour la programmation des essais en cavité hyperfréquence.

PROPOSE PAR : II . S L U S Z K I E W I C Z

PROFESSEUR à L'E.N.P.A

REALISE PAR : II . M E R A Z I § II - II . S N O U S S I

--oo000oo-- R E M E R C I M E N T --oo000oo--  
- - - - - § - - - - -

NOS REMERCIMENTS VONT A NOS PARENTS POUR LEURS INCESSANTS  
ENCOURAGEMENTS, AINSI QU'A MONSIEUR SLUSZKIEWICZ POUR LES  
CONSEILS QU'IL NOUS A PRODIGUES TOUT AU LONG DE CETTE ETU-  
-DE NOUS REMERCIONS EGALEMENT TOUS LES PROFESSEURS QUI ONT  
CONTRIBUE A NOTRE FORMATION.

     . SNOUSSI §      . MERAZI

( ) TABLE DE MATIERES ( )

I - Introduction.....	2	✓
I- Cahier de charge.....	3	✓
II- Etude de la Regulation.....	4	✓
1- Système asservi ou à régulation.....	4	✓
2- Elements fondamentaux d'une chaine de régulation.....	5	✓
3- Grandeurs fondamentales d'une chaine de régulation.....	7	✓
4- Le capteur.....	8	✓
5- Identification du processus.....	9	✓
6- Le Régulateur.....	10	✓ 15
III- La régulation de Puissance:.....	24	✓
I- Composants utilisés dans la commande de puissance.....	24	✓
2- Différentes possibilités de la commande de puissance.....	28	✓
3- Régulation par commande de phase.....	32	✓
IV- Etude pratique du régulation de temperature.....	34	✓
I- Les différents étages électroniques.....	34	✓
2- Schéma du montage.....	49	✓
3- Résultats de mesures.....	50	✓
V- Devis technique.....	51	
I- Nomenclature.....	51	
2- Circuit imprimé.....	52	
3- Montage des composants.....	53	

4- Boiteur.....	54
VI- Conclusion :.....	56
1- Annexe.....	57
2- Bibliographie.....	60



## Introduction

-----

Au laboratoire dielectrique de l'institut de Physique de l'USTM, ont lieu des essais sur les dielectriques en cavité hyperfréquence.

Paré Soumis à une température donnée, les échantillons du dielectrique sont traversés par des ondes hyperfréquences et leur polarisation est fonction de la température.

Le maintien de cette dernière fixe, est un problème fondamental.

Il nous a donc été confié d'étudier et de réaliser un régulateur de température dont les caractéristiques essentielles à attendre sont données dans le cahier de charge.

- Cahier de charge:

- La température doit varier entre  $-100^{\circ}\text{C}$  et  $+100^{\circ}\text{C}$
- Tension d'alimentation du secteur;  $220\text{V} / 50\text{ Hz}$
- Le capteur de température à utiliser sera du type TN 2AS -

Le régulateur se présentera sous la forme d'un boîtier standard de Norme RACK 19 pouce comportant sur la face avant;

- Un affichage numérique de la température (face avant de la boîte TN2AS)
- Un affichage de la valeur de la consigne.
- Un bouton de réglage de la température voulue.
- Un bouton de réglage de la sensibilité proportionnelle
- Un interrupteur Marche - Arrêt -
- Lampe témoin pour l'alimentation .
- 1 voyant lumineux visualisant le courant de chauffage.
- 2 interrupteurs permettant de varier l'action intégrale

Donner une documentation pour la série de 10.

-ETUDE DE LA REGULATION-

1- SYSTEME ASSERVI OU A REGULATION.

Un système Asservi ou a regulation est un système dont le fonctionnement est régi par les écarts de son comportement instantané par rapport à son comportement assigné.

Il en résulte qu'un tel système possède les deux propriétés suivantes:

- C'est un système à retour.
- C'est un système de commande avec amplification de puissance.

Cette définition entraîne qu'un système asservi possède un diagramme fonctionnel en boucle, l'étage de puissance étant commandé à partir de l'écart entre la commande et la sortie, que mesure un organe comparateur.

Toutefois, les conditions d'emploi amènent à distinguer deux classes:

Les systèmes suiveurs et les systèmes régulés.

a) Un système suiveur est un système dont la commande varie constamment avec le temps leur but est de maintenir l'égalité entre la commande et la sortie.

.../...

b) Un système régulé est un système asservi travaillant à entrée de commande constante, ou variant par paliers de réglages, destiné à réaliser l'égalité de la commande et de la sortie quelles que soient les perturbations.

Avant d'aborder l'étude de la régulation, il est nécessaire de définir comment est constituée, sous sa forme la plus générale, une chaîne de régulation et quelles sont les grandeurs fondamentales qui la caractérisent.

### 1. ELEMENTS FONDAMENTAUX D'UNE CHAÎNE DE RÉGULATION:

La figure n°1 représente schématiquement la composition d'une chaîne de régulation:

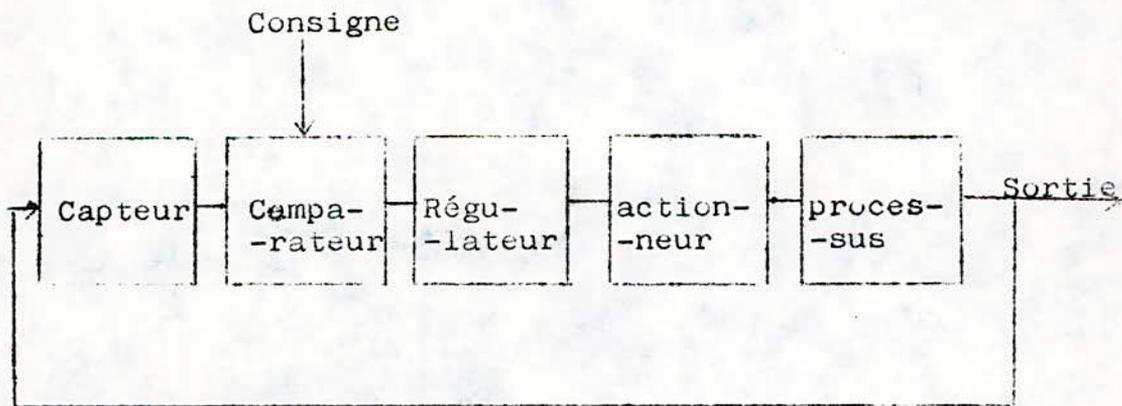


fig.1.

nous y trouvons:

.../...

a) LE PROCESSUS.

Est la façon dont évolue un système pour parvenir à un objectif déterminé. Il est soumis à l'influence des grandeurs extérieures (variables d'entrée) et caractérisé par les grandeurs qui lui sont propres (variables de sortie). La régulation sera l'un des moyens permettant au processus de réaliser son objectif.

b) LE CAPTEUR.

La grandeur régulée n'est pas en général exploitable par le circuit de régulation. Le capteur a pour but de délivrer sous une forme électrique la mesure de la variable de sortie.

c) L'ACTIONNEUR.

Comme son nom l'indique, il agit sur la grandeur d'action, c'est à dire sur la variable du processus qui permettra de faire évoluer la grandeur régulée.

d) LE COMPAREUR.

Il compare la grandeur mesurée à la grandeur de référence pour en déterminer l'écart.

e) LE REGULATEUR.

Il permet à l'aide de circuits spéciaux, d'obtenir les performances en précision et en stabilité de la boucle de régulation.

3 - LES GRANDEURS FONDAMENTALES D'UNE CHAÎNE DE RÉGULATION

a) LA GRANDEUR DE CONSIGNE :

C'est la grandeur de référence appliquée au régulation. Elle est représentative de la grandeur à réguler.

b) LA GRANDEUR RÉGULÉE :

La grandeur issue du processus et sur laquelle agit la régulation. elle sera mesurée et utilisée par l'intermédiaire d'un capteur.

c) LA GRANDEUR RÉGULANTE :

C'est l'écart issu du régulation et corrigé en vue de l'obtention des performances envisagées.

d) LES PERTURBATIONS :

Ce sont les actions intérieures ou extérieures au processus et qui s'opposent à son fonctionnement normal. Elles sont automatiquement compensées grâce à la branche de retour.

e) LA GRANDEUR DE MESURE :

C'est la grandeur issue du capteur sous forme analogique. Elle est proportionnelle à la grandeur à réguler.

#### 4- LE CAPTEUR:

La mesure de temperature se fait par des thermometres éle-  
-ctriques.

Ces appareils sont constitués par un capteur sus-  
-ceptible de fournir une grandeur électrique dependant de  
la temperature.

Il existe différents thermometres électriques:

##### a) THERMOMETRES A COUPLE THERMO-ELECTRIQUE.

Le capteur est constitué par 2 fils métalliques  
différents réunis à chacune de leur extrémité pour former  
un circuit fermé. Une différence de temperature entre les  
deux jonctions provoque la circulation d'un courant dans  
le circuit.

##### b) THERMOMETRES A RESISTANCE.

On utilise la variation de resistance d'un conduc-  
-teur en fonction de la temperature.

Le platine est le plus utilisé car il est facile à puri-  
-fier et la variation de sa resistance avec la temperature  
est une courbe facile à lineariser.

##### c) LES THERMOMETRES A THERMISTANCES.

Le Conducteur électrique est un semi conducteur  
dont la resistance décroît de façon exponentielle en fonc-  
-tion de la temperature.

5 - IDENTIFICATION DU PROCESSUS.

La régulation d'un système nécessite une connaissance initiale de ses caractéristiques statiques et dynamiques. Pour cela, on est amené à en faire une représentation mathématique qui le caractérisera pour pouvoir prévoir son comportement, et produire une action régulatrice convenable.

On utilise deux méthodes :

\* LA METHODE ANALYTIQUE

Les équations relatives à la dynamique du processus sont élaborées à partir des lois de conservation de l'énergie.

\* LA METHODE EXPERIMENTALE

Les caractéristiques sont déterminées directement à partir de la courbe de variations, enregistrée lorsqu'on applique à l'entrée du processus une perturbation mesurable en rapport avec le résultat désiré. Cette courbe peut-être utilisée directement en vue de définir les conditions de réglage du régulateur.

5.1 - ETUDE ANALYTIQUE DE NOTRE PROCESSUS --

La résolution de cet exemple est basée sur la considération suivante : la quantité d'énergie emmagasinée par un système est à tout instant égale à la différence des énergies entrantes et sortantes.

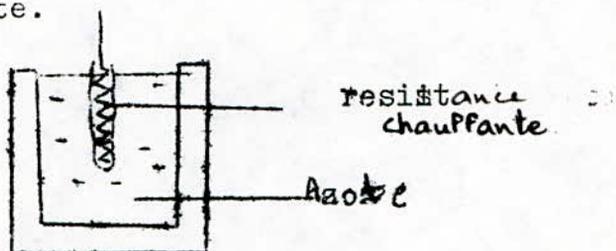
La resistance alimentée par une tension  $U$  et traversée un courant  $I$  absorbe une puissance active  $p$

$$p = U I$$

L'energie électrique transformée en chaleur a pour valeur  $Q$ .

$$Q = U I t .$$

La resistance chauffante est plongée dans un vase Dewar rempli d'azote.



Supposons que la temperature du bain s'elève de  $d\theta$  pendant le temps  $dt$ . Ecrivons pour cela que la quantité de chaleur  $C d\theta$ , necessaire pour chauffer le bain de  $d\theta$ , est égale à la quantité de chaleur cedée par la resistance au bain pendant le temps  $dt$ , proportionnelle à la difference de temperature ( $\theta_1 - \theta$ ) entre la resistance et le bain.

$$Cd\theta = \frac{\theta_1 - \theta}{R} dt.$$

Où  $C$  est la capacite thermique. Elle caracterise l'inertie thermique du bain.  $R$  caracterise le transfert de chaleur entre la resistance et le bain. L'equation ci dessus s'ecrit encore:

$$C \frac{d\theta}{dt} = \frac{\theta_1 - \theta}{R} = \frac{\theta_1}{R} - \frac{\theta}{R}$$

$$\text{d'où; } RC \frac{d\theta}{dt} + \theta = \theta_1$$

En écriture opérationnelle:

$$RCp\theta + \theta = \theta_1 \Rightarrow \frac{\theta}{\theta_1} = \frac{1}{1 + RCp}$$

Le capteur de température met un retard  $Z$  pour enregistrer une variation à l'intérieur du vase. La fonction de transfert du processus s'écrit donc:

$$P(p) = \frac{\exp(-Zp)}{1 + RCP}$$

5-2. IDENTIFICATION DU PROCESSUS PAR LA METHODE EXPERIMENTALE.

Les parametres du processus nous étant inconnus ;  
Nous aurons recours à la méthode experimentale pour arriver  
à la fonction de transfert de notre système.

On applique un échelon de tension de 24 Volts aux  
bornes de la résistance chauffante et on relève les valeurs  
de la sortie en fonction du temps au niveau du capteur.  
La courbe de réaction obtenue (page.13) nous permet  
d'identifier le processus. Pour cela, il existe différentes  
methodes ; entre autres, la méthode de Broïda qui se distin-  
-gue par sa simplicité :

METHODE DE BROÏDA :

La méthode de Broïda consiste à indentifier une  
fonction du  $n^{ieme}$  ordre à une fonction du 1er ordre affectée  
d'un retard pur.

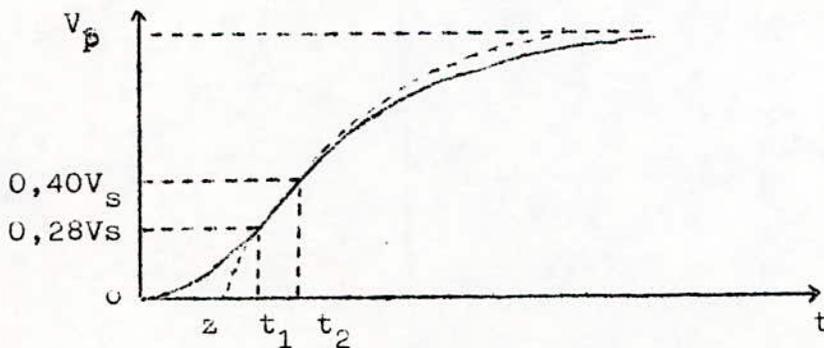
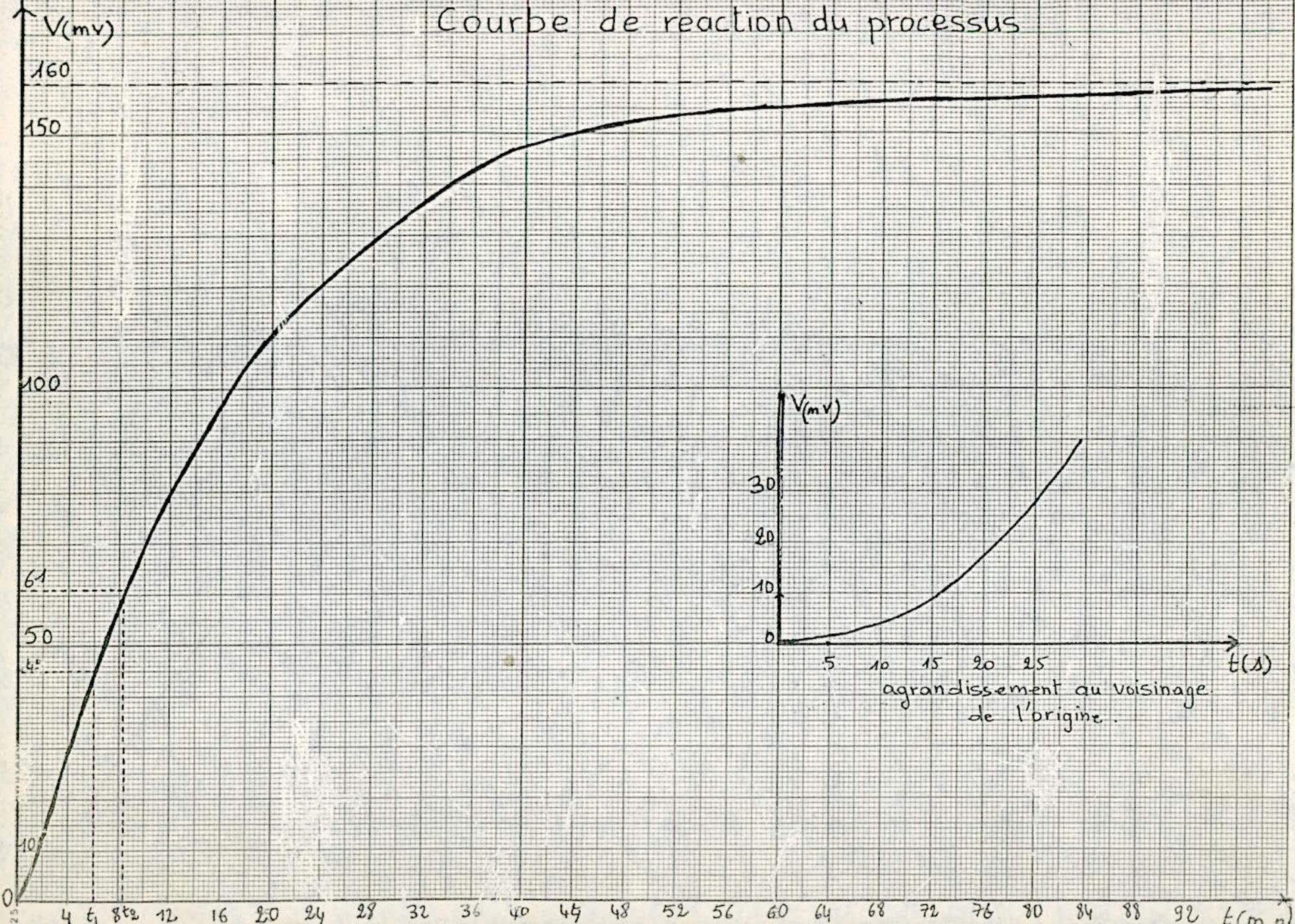


fig.2

La courbe du 1er ordre passe par 2 points situés sur la  
courbe enregistrée, ayant pour ordonnées  $0,28 V_s$  et  $0,40 V_s$   
ces deux points déterminent deux temps  $t_1$  et  $t_2$ .

# Courbe de reaction du processus



agrandissement au voisinage de l'origine.

.../...

On calcule alors le gain statique  $G_S$ , la constante de temps  $T$  et le retard pur  $z$  par les formules suivantes.

$$G_S = \frac{V_s}{V_e}$$

$$T = 2,8 t_1 - 1,8 t_2$$

$$z = 5,5 (T_2 - T_1)$$

DANS NOTRE CAS :

$$V_s = 160 \text{ mV} ; \quad V_e = 24 \text{ V} ; \quad t_1 = 290 \text{ s} ; \quad t_2 = 443 \text{ s}$$

$$\text{D'où } G_S = 0,006 ; \quad T = 840 \text{ s} ; \quad z = 15 \text{ s} .$$

La fonction de transfert de notre processus est donc :

$$P(p) = \frac{0,006 e^{-15 p}}{1 + 840 p}$$

## 6 LE REGULATEUR.

### 6-1. ACTIONS DU REGULATEUR.

Le régulateur est le dispositif ayant pour but de faire varier l'entrée du processus régulé de manière à réduire, jusqu'à l'annulation, l'écart entre la valeur de sortie et la valeur assignée. Il est incorporé en série dans la chaîne de régulation et possède jusqu'à trois actions spécifiques:

#### ACTION PROPORTIONNELLE:

En simple action proportionnelle, le régulateur se comporte comme un amplificateur classique à courant continu. Le courant de contrôle de l'actionneur à sa sortie est proportionnel à l'écart (mesure - consigne) à l'entrée.

#### ACTION INTEGRALE.

En action intégrale, le régulateur se comporte comme un intégrateur. De ce fait, son gain augmente d'autant plus que diminue la fréquence du signal qui lui est appliquée. Il est ainsi possible d'obtenir des gains importants en continu et aux basses fréquences. La précision de la régulation s'en trouve améliorée. Toute en conservant une bonne stabilité.

#### ACTION DERIVEE:

Cette action est utilisée pour améliorer la stabilité du système régulé - le régulateur produit.

Une avance de phase dans un spectre de fréquences donné ; on peut ainsi compenser artificiellement une partie du déphasage apporté par les constantes de temps du processus

COMPARAISON DES DIFFERENTES REGULATIONS  
-----

Avec une commande proportionnelle, l'écart entre la valeur de sortie et la valeur assignée n'est pas exactement nul. L'emploi d'une régulation I permet de l'annuler, mais au prix d'un accroissement du temps de réponse. La régulation PI réunit donc les avantages des régulations P et I à savoir : pas d'erreur permanente et temps de réponse ramené à une valeur du même ordre qu'avec la régulation P.

L'adjonction de l'action dérivatrice à l'action P donne la régulation PD. Qui permet d'avoir le temps de réponse le plus court mais un écart (Sortie - consigné) non nul.

La meilleure régulation est donc obtenue par combinaison des trois actions P, I et D. C'est la régulation PID. Elle permet d'annuler l'erreur permanente, tout en conservant un temps de réponse comparable à celui de la régulation PD.

Notre choix s'est porté sur le régulateur PI puisque nous cherchons uniquement à annuler l'écart mesure-consigne. Notre processus lent, l'introduction d'une action dérivatrice est inutile.

### 6.2 FONCTION DE TRANSFERT DU REGULATEUR PI.

La sortie du régulateur PI et la somme de deux termes dont l'un est proportionnel à l'entrée et l'autre à son intégrale.

$$m(t) = K_p e(t) + k_i \int_0^t e(\tau) d\tau.$$

Sous forme opérationnelle la relation s'écrit:

$$M(p) = K_p E(p) + \frac{K_i}{p} E(p)$$

en posant  $K_i = K_p K$  avec  $K = \frac{1}{T_i}$

$$M(p) = K_p E(p) \left(1 + \frac{1}{T_i p}\right)$$

La fonction de transfert du régulateur PI s'écrit donc:

$$\frac{M(p)}{E(p)} = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i p}\right)$$

Les deux paramètres  $K_p$  et  $T_i$  permettent le réglage des actions, de la régulation PI.  $K_p$  est la sensibilité proportionnelle.  $T_i$  est appelée temps d'intégration.

6-3- REGLAGE DES ACTIONS DU REGULATEUR.

Le réglage du regulateur consiste à choisir les valeurs de la sensibilité proportionnelle et du temps d'intégration pour permettre au système contrôlé de vérifier les conditions suivantes:

- d'être parfaitement stable. Aucune oscillation résiduelle ne doit subsister dans la boucle de régulation.

L'écart en régime établi sera inférieur ou égal à la valeur prescrite par l'utilisateur.

Des méthodes expérimentales très simples sont prévues pour cet effet. Entre autres, la méthode de chien.

PRINCIPE DE LA METHODE DE CHIEN.

Généralement, la réponse transitoire enregistrée en boucle ouverte a l'allure de la courbe ci-dessous:

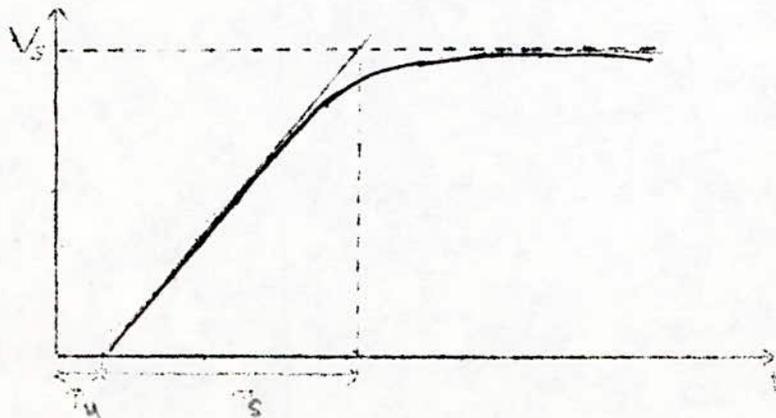


Fig. 3.

L'analyse de la courbe se fait en dessinant la tangente point d'inflexion. On détermine alors le temps mort apparent  $T_u$  et la constante de temps  $T_s$ .

Selon la valeur d'entrée qui peut être variable ou constante. On distingue deux cas;

Dans le cas où l'entrée est variable (Système suiveur).

Les paramètres du régulateur sont donnés par.

$$K_p = 0,6 \frac{T_s}{T_u}$$

$$T_i = 1,3 T_s.$$

Lorsque l'entrée est constante (Système réglé).

$$K_p = 0,7 \frac{T_s}{T_u}$$

$$T_i = 2,3 T_u$$

#### EXPLOITATION DE LA METHODE.

L'analyse de la courbe de réaction de notre processus donne :

$$T_s = 840s$$

$$T_u = 15s$$

$$\text{d'où } K_p = 39 \quad \text{et } T_i = 34s$$

La fonction de transfert du régulateur est donc :

$$R(p) = 39 \left( 1 + \frac{1}{34p} \right)$$

6-4 SCHEMA FONCTIONNEL ET STABILITE:

## 6.4.1 SCHEMA FONCTIONNEL.

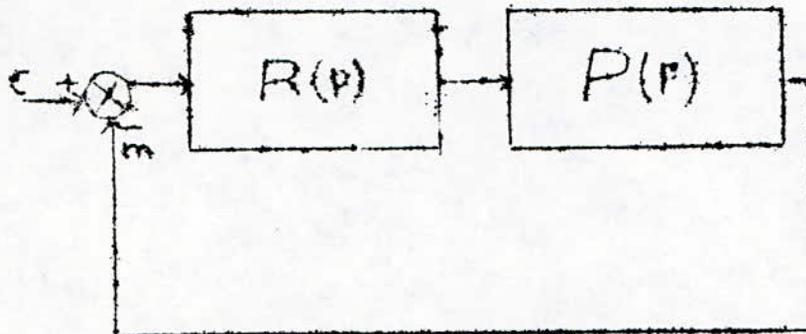


fig. 5

$$\text{où } R(p) = 39 \left( 1 + \frac{1}{34p} \right) \quad \text{et } P(p) = \frac{0,005 \text{ Exp}(-15p)}{1 + 840p}$$

La fonction de transfert de la boucle fermée:

$$H(p) = \frac{R(p) \cdot P(p)}{1 + R(p) \cdot P(p)}$$

$$39 \left( 1 + \frac{1}{34p} \right) \cdot 0,006 \frac{\text{Exp}(-15p)}{1 + 840p}$$

$$H(p) = \frac{0,006 \text{ Exp}(-15p)}{1 + 39 \left( 1 + \frac{1}{34p} \right) (1 + 840p)}$$

$$H(p) = \frac{0,2(1+34p) \text{ Exp}(-15p)}{(28560p^2 + 34(1 + 0,2 \text{Exp}(-15p))p + 0,2 \text{Exp}(-15p))}$$

6.4.2. ETUDE DE LA STABILITE.

Pour éviter les risques d'oscillations entretenues (phénomène de Pompage), il est important d'étudier la stabilité de la boucle et prévoir une marge de sécurité.

La condition fondamentale de stabilité d'un système à retour unitaire est que les pôles de la fonction de transfert soient tous à partie réelle négative.

Ce qui revient à dire que les zéros de l'équation caractéristique soient tous situés dans la moitié gauche du plan complexe.

L'équation caractéristique est:

$$1 + R(p) \cdot P(p) = 0$$

Lorsque les racines de cette équation ne sont pas faciles à déterminer, on recourt à des critères qui permettent de connaître les signes des racines, et la marge de sécurité:

CRITERE DU REVERS:

Un système asservi linéaire est stable si, en décrivant le lieu de transfert en boucle ouverte dans le sens des fréquences croissantes on laisse le point (-1,0) à sa gauche, il est instable dans le cas contraire.

La marge de sécurité est suffisante pour une marge de gain  $\Delta g$  de 10 à 15dB et une marge de phase  $\Delta \psi$  comprise entre 45° et 50°.

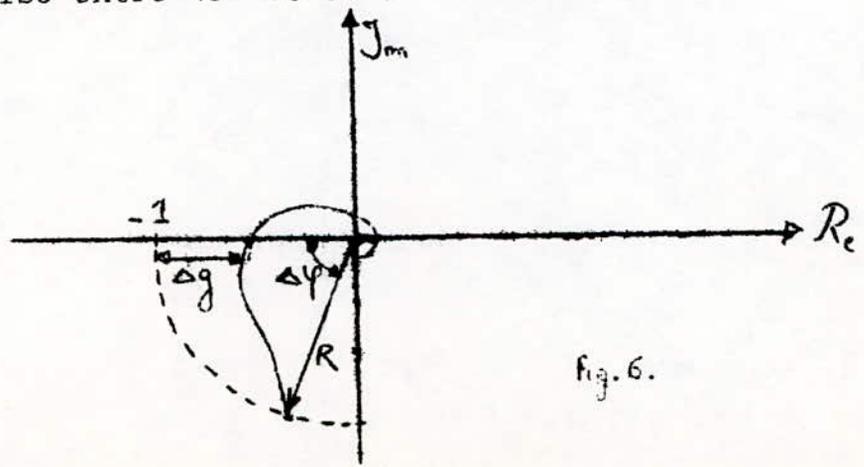


fig. 6.

Le gain en boucle ouverte étant:

$$Z(p) = R(p) \times P(p) = 39 \left(1 + \frac{1}{34p}\right) \frac{0,006 e^{-15p}}{1 + 840p}$$

calcul des racines de l'équation caractéristique:

$$1 + Z(p) = 0$$

$$1 + \frac{0,234(34p+1) e^{-15p}}{(1+840p) 34p} = 0$$

Le retard est assimilé à un déphasage négatif;

ce qui revient à écrire:

$$34p (1 + 840p) + 0,234 (34p + 1) = 0$$

$$P_{1,2} = -45 \pm j 225.$$

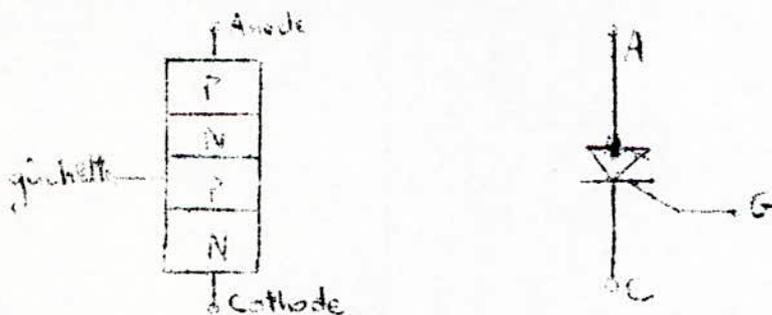
La partie réelle des racines étant négative, le système est stable.

CHAPITRE IIILA REGULATION DE PUISSANCE -3-1- COMPOSANTS UTILISES DANS LA COMMANDE DE PUISSANCE.3-1)-1 LE THYRISTOR:

Le thyristor est un commutateur presque idéal, il reste normalement bloqué jusqu'au moment, choisi avec précision, où l'on décide de le rendre passant en agissant sur son électrode de déclenchement. Ce faisant, on commande à volonté le passage du courant ou de la puissance.

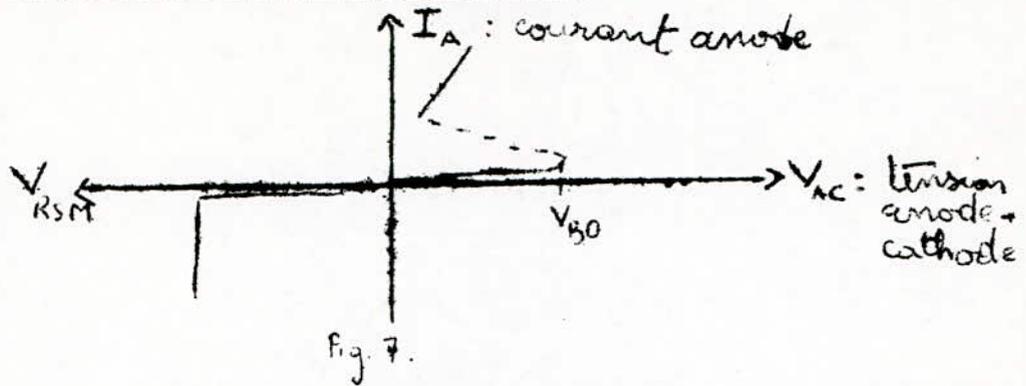
a) STRUCTURE DU THYRISTOR:

Le thyristor est un semi-conducteur au silicium à quatre couches alternativement P et N.



C'est un dispositif unidirectionnel, il ne laisse passer le courant que dans le sens direct (les électrons allant de l'anode vers la cathode.) Ce qui lui permet de remplir aussi la fonction de redresseur.

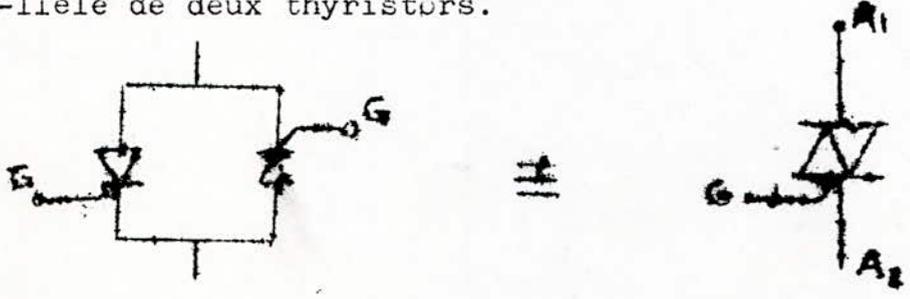
COURBE CARACTERISTIQUE DU THYRISTOR:



Le courant anode est très faible tant que la tension anode cathode n'ait pas atteint une valeur  $V$  minimale. Une fois cette valeur atteinte, la tension à ses bornes s'écroule tandis que le courant  $I_A$  s'accroît. Lorsqu'on applique un courant de commande à la gâchette on déplace vers la gauche le point de retournement  $V_{BO}$ .

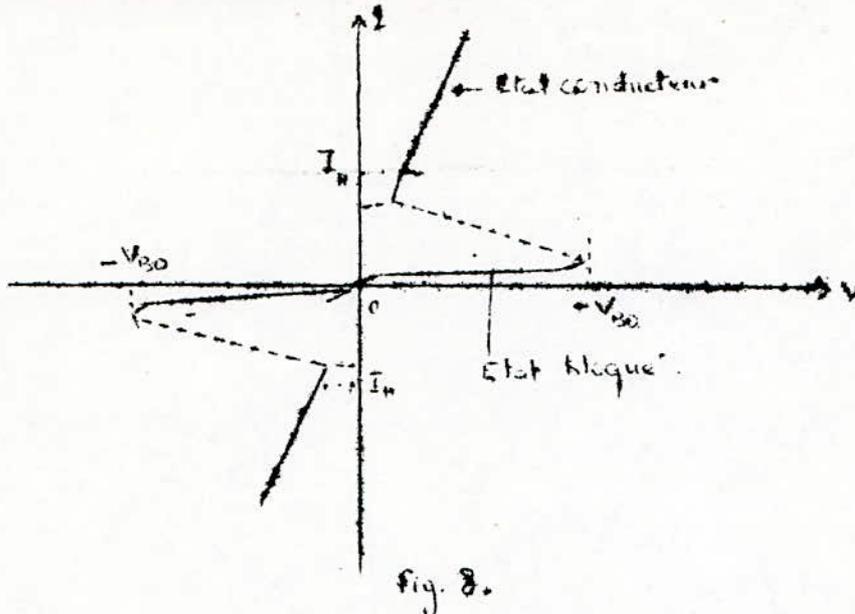
3-1-2- LE TRIAC:

Le triac est la variante bidirectionnelle du thyristor il peut-être comparé à l'association en antiparallèle de deux thyristors.



Il peut donc être déclenché par un courant de gâchette positif ou négatif.

COURBE CARACTERISTIQUE DU TRIAC:



$I_H$  = courant hypostatique - c'est le courant minimal nécessaire pour maintenir le triac à l'état passant.

3-1-3- LE TRANSISTOR UNIJONCTION:

Le transistor unijonction est un composant utilisé pour déclencher le thyristor ou le triac.

C'est un dispositif comportant deux bases B1 et B2 entre lesquelles est placé une résistance de silicium.

appelée résistance interbase- ( $R_{BB}$  comprise entre 4000 $\Omega$  et 10000 $\Omega$ ).

Il peut-être utilisé pour la réalisation des oscillateurs à relaxation.

.../...

La figure 9 représente la circuit équivalent et le symbole schematic:

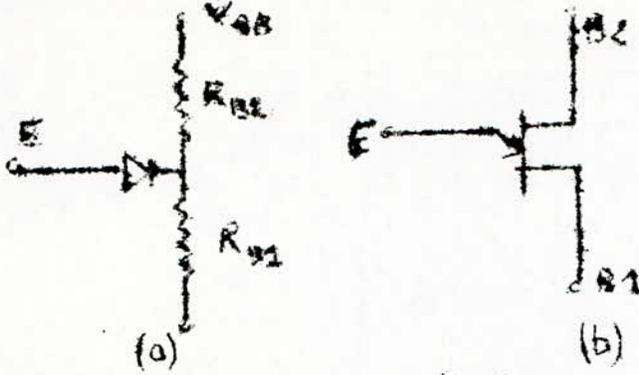


Fig. 9.  
 (a) circuit équivalent (b) symbole schematic.

Le rapport d'isolement intrinsèque de resistance est par definition.

$$\eta = \frac{R_{B1}}{R_{B1} + R_{B2}}$$

La tension aux bornes de  $R_{B1}$  est connue sous le nom de tension d'isolement.

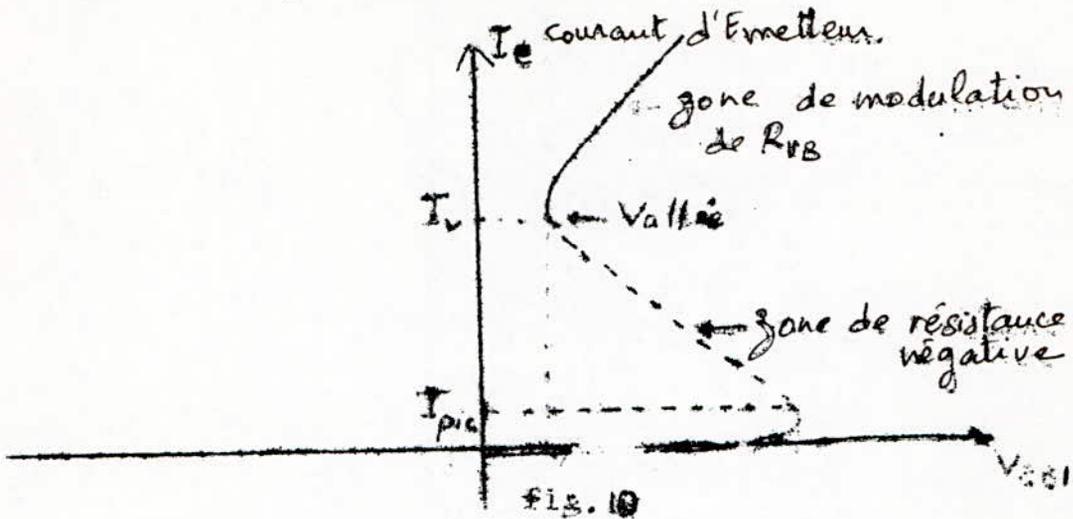
a) FONCTIONNEMENT DU TRANSISTOR UNIJONCTION.

Tant que la tension d'entrée de l'émetteur est inférieure à la tension d'isolement, la diode d'émetteur est polarisée en inverse et il ne passe qu'un courant de fuite. Lorsque la tension d'entrée d'émetteur est supérieure à la tension d'isolement, il circule un courant d'émetteur tant que ce dernier n'atteint pas le courant minimum de fonctionnement.

.../...

.../...

- Caractéristique de l'UJT:



Caractéristique de l'UJT.

### 3-2-LES DIFFERENTES POSSIBILITÉS DE COMMANDE DE LA PUISSANCE.

On veut commander et réguler la puissance fournie à la résistance chauffante. La figure (3.2.a) montre comment évolue la puissance de chauffage. (Trait plein) par rapport au niveau souhaité. La différence (pointillé) est l'écart.

Pour fournir la puissance nécessaire, on peut:

- L'appliquer par tout ou rien.
- Appliquer des périodes d'alternances.
- Agir sur l'angle de phase.

... ..

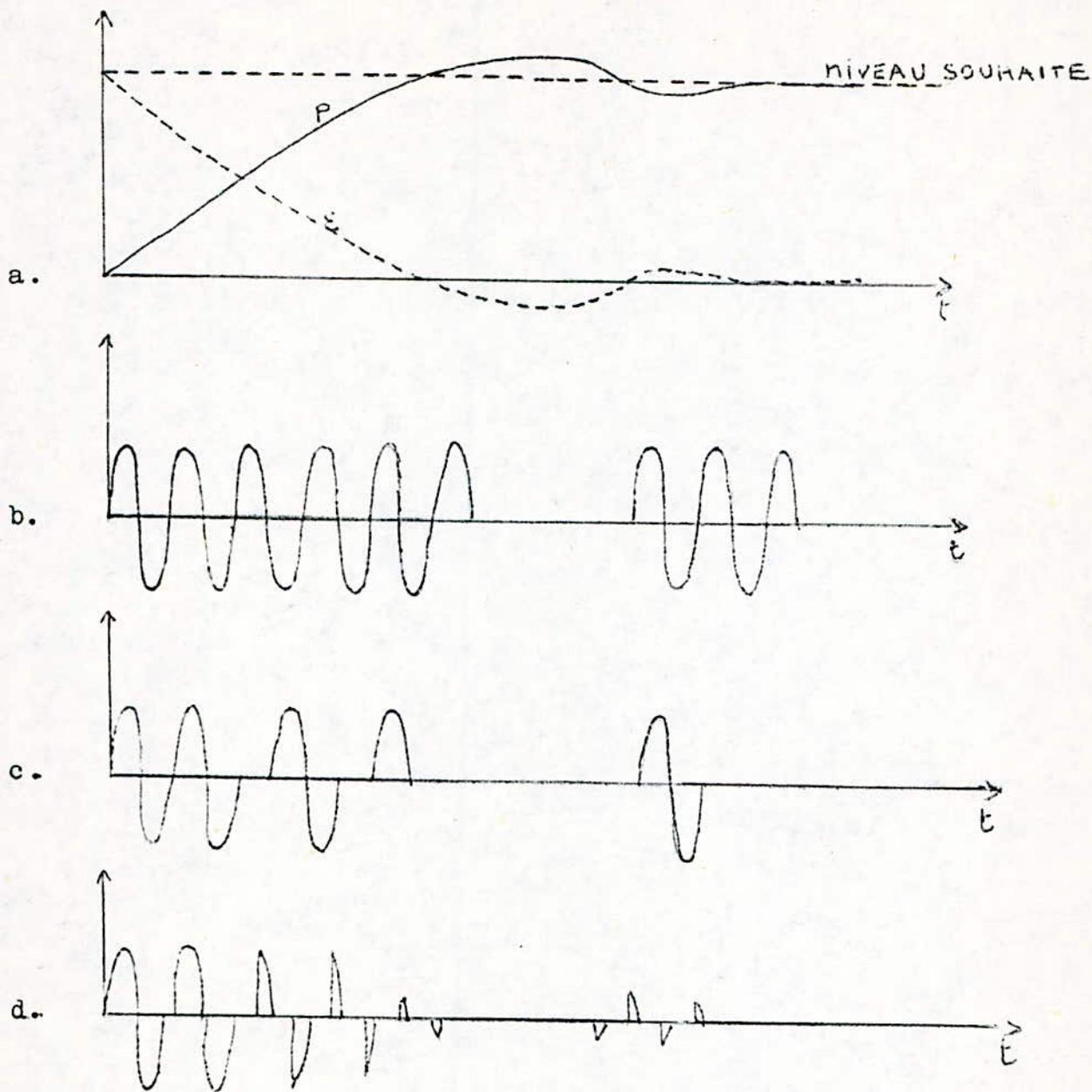


fig.3.2 quelques principes relatifs à la commande de puissance:

- a: evolution de la puissance.
- b: commande par tout ou rien,
- c: commande par paquets d'alternances,
- d: commande par action sur l'angle de phase.

3-2-1- COMMANDE PAR TOUT OU RIEN:

Le triac dans ce cas, remplit la fonction d'un interrupteur. C'est à dire que le composant:

- reste fermé tant qu'un ordre de fermeture lui est imposé.
- s'ouvre quand cet ordre est supprimé le triac est donc fermé tant que l'écart est positif et s'ouvre lorsqu'il est négatif ou nul.

Cette méthode est utilisée lorsque la précision à atteindre n'est pas grande.

3-2-2 COMMANDE PAR PAQUETS D'ALTERNANCES.

Le nombre d'alternances supprimées sont déterminés par les durées des signaux issus d'un multivibrateur.

Ces signaux sont commandés par la tension continue issue du régulateur.

Ce procédé de variation de puissance, est utilisé, lorsque le temps de réponse du système, peut sans inconvénient être très supérieur à la durée d'une période de l'alimentation.

3.4.3 COMMANDE DE PHASE:

La commande de phase est un procédé qui permet d'appliquer à la charge. Une fraction déterminée de la tension d'alimentation.

Et ce, en faisant varier, au cours de la demi-période, le moment à partir duquel le triac est rendu conducteur.

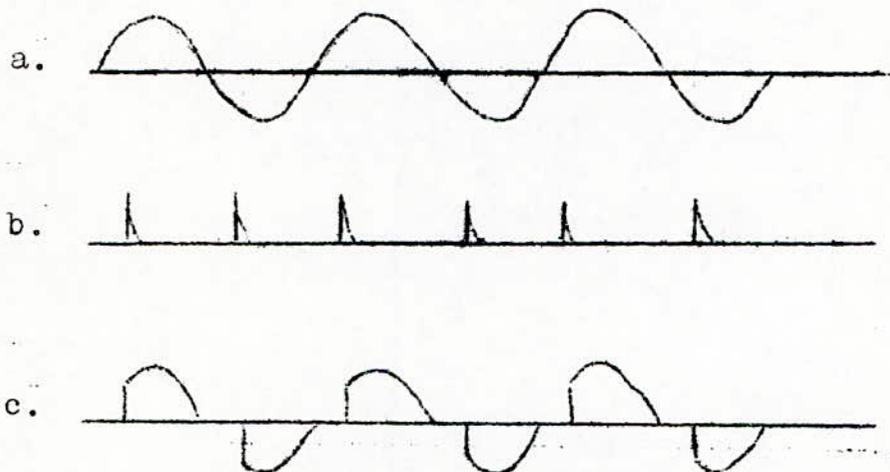


fig.11.Principe de la commande de phase:  
a: tension du secteur; b:impulsion de gâchette  
c: tension aux bornes de la charge.

Cette methode étant choisie pour la regulation de la puissance fournie à notre résistance chauffante. Nous l'étudierons plus en detail.

### 3-3- LA REGULATION PAR COMMANDE DE PHASE

#### 3-3-1. PRINCIPE :

Cette méthode consiste à produire des impulsions à position variable. La charge est branchée en série avec le triac, l'ensemble étant branché aux bornes du réseau alternatif le signal d'amorçage du triac est délivré par l'intermédiaire d'un déphaseur et d'un générateur d'impulsions. Ce déphaseur permet de décaler la tension appliquée au générateur d'impulsion par rapport à la tension aux bornes de la charge de  $0^\circ$  à  $180^\circ$  soit une alternance.

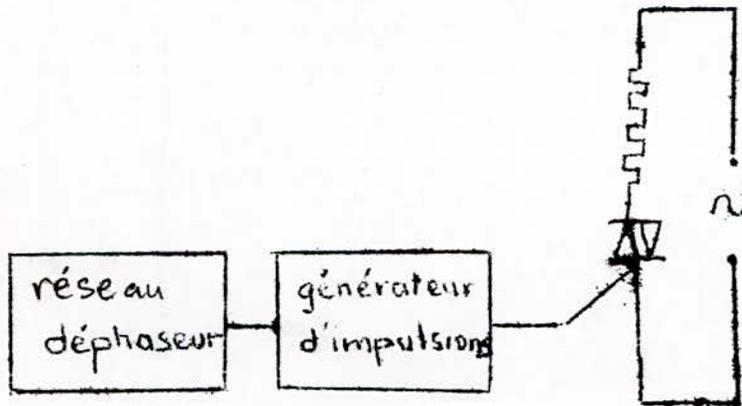


Fig. 12.

référence : Thyristors et Triacs - H. LILLEN.  
- Ed. RADIC.

3-3-2: LE RESEAU DEPHASEUR:

Un reseau à retard RC peut être adopté comme reseau déphaseur. Il simule un certain retard par sa constante de temps.

3-3-3. LE GENERATEUR D'IMPULSION:

Le circuit de base utilisé pour le declenchement des triacs est un simple montage oscillateur à relaxation.

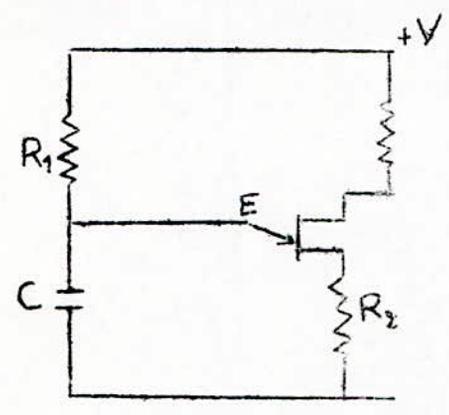


fig.13.

La capacité est chargée à travers  $R_1$  jusqu'à ce que la tension d'emetteur atteigne  $V_{pic}$ .  
 A ce moment, le transistor UJT bascule et decharge le condensateur (C) à travers la resistance  $R_2$  lorsque la tension d'emetteur tombe à une valeur inferieure à la tension de vallée, l'emetteur cesse de conduire, l'UJT se bloque et le cycle recommence. La période d'oscillation T, est fonction de la constante de temps RC.

Pour plus de détails, Voir LE Thyristor (M. HELBERT) page 64.

## - CHAPITRE IV -

ETUDE PRATIQUE DU REGULATEUR.

Dans ce chapitre, nous allons étudier les différents étages du régulateur de température à savoir :

- Le circuit de consigne
- le comparateur
- le régulateur PI
- l'étage actionneur
- les alimentations

1. LE CIRCUIT DE CONSIGNE.

C'est un circuit qui devra délivrer une tension comprise entre  $-0,3V$  et  $+0,3V$ .

Un tel circuit, serait alimenté à partir d'une bobine d'un transformateur à plusieurs sorties qui servirait aussi à alimenter le régulateur.

Ce transformateur n'étant pas disponible, nous utiliserons une pile de  $4,5V$  avec un circuit de stabilisation.

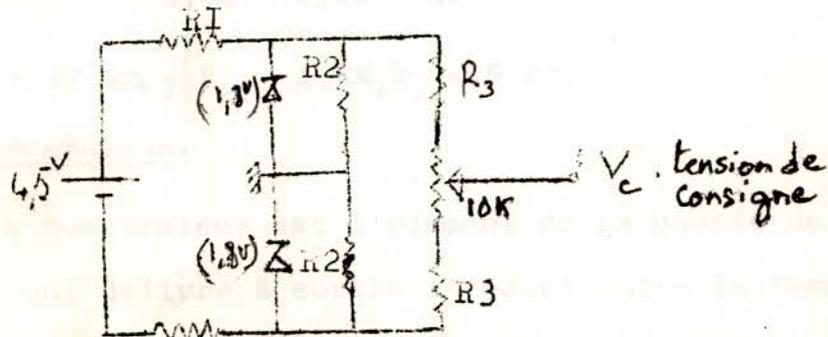


figure 14. : le circuit de consigne

La tension de consigne sera donnée par le potentiomètre P de valeur max  $10k\Omega$ .

- Calcul des resistances:

La tension aux bornes du potentiometre etant de 0,6V, le courant  $i$  le traversant sera:

$$i = \frac{0,6}{10^4} = 0,06 \text{ mA.}$$

les diodes zeners  $Z_1$  et  $Z_2$  de 1,8V stabiliseront la tension de consigne.

$$R_3 = \frac{1,8 - 0,3}{0,06} = 25 \text{ k}$$

Les resistances  $R_2$  qui realisent un pont diviseur seront égales à 10 kn. Le courant les traversant sera:

$$i = \frac{1,8}{10} = 0,18 \text{ mA.}$$

Le courant de zener  $I_z = 12 \text{ mA.}$

On determine alors la resistance  $R_1$ .

$$R_1 = \frac{2,25 - 1,8}{0,06 + 0,18 + 12} = 0,5 \text{ kn.}$$

Donc :  $R_3 = 22 \text{ kn}$ ,  $R_2 = 10 \text{ kn}$ ,  $R_1 = 0,5 \text{ kn.}$

### -2- LE COMPAREUR.

Le compareur est l'élément de la boucle de régulation qui delivre à sortie l'écart entre la tension de consigne  $V_c$  et la tension de sortie du capteur  $V_m$ . Ce circuit sera realisé à l'aide d'un amplificateur opérationnel (  $\mu\text{A} 741$  ) monté en soustracteur:

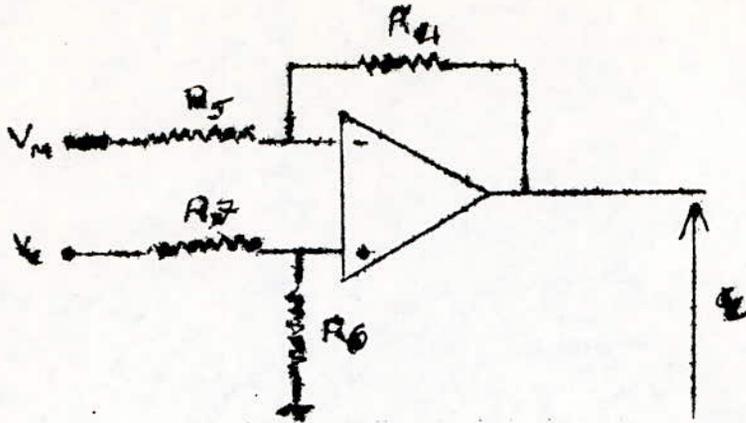


fig.15. le comparateur.

$$E = \frac{R_7}{R_6} V_c - \frac{R_4}{R_5} V_M$$

Si nous prenons  $R_7 = R_6 = R_5 = R_4$ .

$$E = V_c - V_M.$$

nous fixerons  $R_4 = R_5 = R_6 = R_7 = 100\Omega$ .

dont la puissance est de 0,5W.

### 5.3. LE REGULATEUR PI:

L'amplificateur operationnel associé à un reseau de resistance et de capacite permet d'obtenir l'action PI. IL suffit de placer dans sa boucle de retour un element differentiateur;

En effet, le branchement de l'amplificateur operationnel étant le suivant:

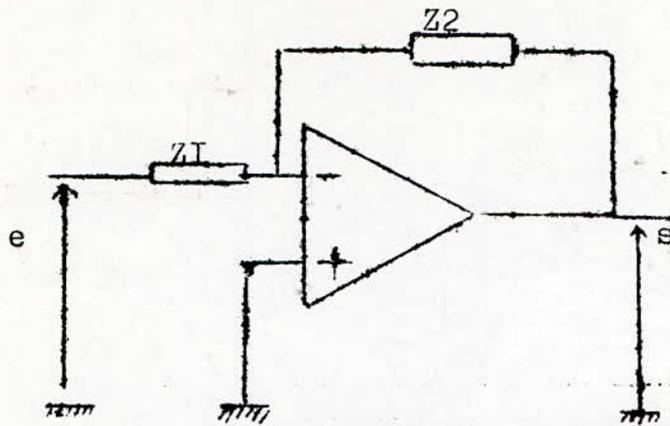


fig.16. branchement de l'amplificateur operationnel.

$$R(p) = - \frac{Z_2(p)}{Z_1(p)}$$

Si on désire que  $R(p) = K_p \left( 1 + \frac{1}{RCP} \right)$

il suffit de prendre  $Z_2 = R_6 + \frac{1}{CP}$  . et  $Z_1 = R_5$

ou aura:

$$R(p) = \frac{R_6 + \frac{1}{CP}}{R_5} = \frac{-R_6}{R_5} \left( 1 + \frac{1}{R_6 CP} \right)$$

le montage du régulateur théorique sera donc.

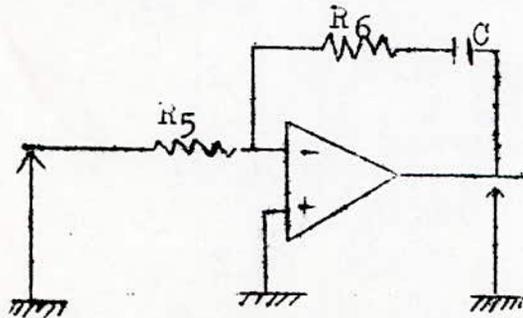


fig.17. Regulateur PI.

Pour pouvoir utiliser un tel montage il est impératif de compenser le courant d'offset, sinon ce courant charge C jusqu'à saturation de l'amplificateur opérationnel on place pour cela une résistance RI qui servira à réduire le gain aux basses fréquences en parallèle avec la branche R6C

CALCUL DES ELEMENTS:

d'après l'étude précédente (chapitre II), la fonction de transfert, du régulateur est :

$$R(P) = 39 \left( 1 + \frac{1}{34P} \right)$$

sachant que  $R(P) = \frac{-R_6}{R_5} \left( 1 + \frac{1}{R_6 C P} \right)$

Par identification, on détermine  $R_6/R_5 = 39$  et  $R_6 C = 34$

Nous disposons de 3 condensateurs de  $10 \mu F$ , et d'un potentiomètre de  $10k\Omega$  ce qui nous permettra de réaliser le régulateur PI à actions réglables

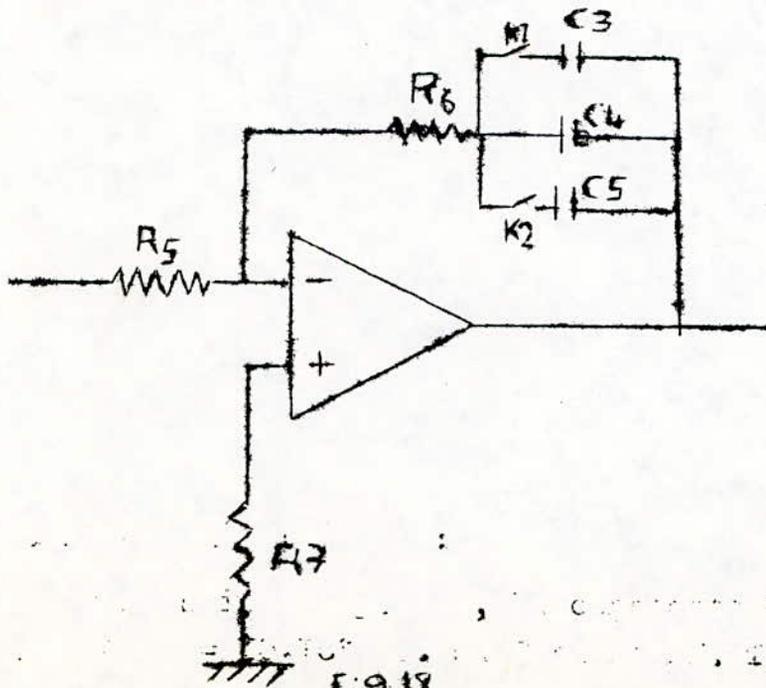


Fig 18

Reglage de l'action integrale:

En ouvrant les interrupteurs, la constante de temps  $T_i$  sera egale a  $T_i = 10 \times 10^{-6} R_6$  en fermant  $K_1$ ,  $T_i$  double. Si on ferme  $K_1$  et  $K_2$  elle triple .

on veut  $T_i = 34s$  avec 1 seule capacite :

$$T_i = R_6 C \implies R_6 = \frac{34}{10 \cdot 10^{-6}} = 3,4 \text{ Mn}$$

~~On peut donc avoir  $T_i = 34s$ ,~~

On peut avoir :

$$T_i = 34 \text{ s}, T_i = 68 \text{ s} \text{ ou } T_i = 92 \text{ s}$$

-Reglage de la sensibilité proportionnelle :

$$K_p = \frac{R_6}{R_5}$$

$$R_5 = \frac{R_6}{K_p}$$

$$\frac{R_6}{K_p} = \frac{3,4 \cdot 10^6}{39} = 871 \text{ Kn}$$

la sensibilité proportionnelle varie de  $\infty$  (pour  $R_5=0$ )

a ~~3,4 Mn~~

### 5.4. L'ETAGE ACTIONNEUR.

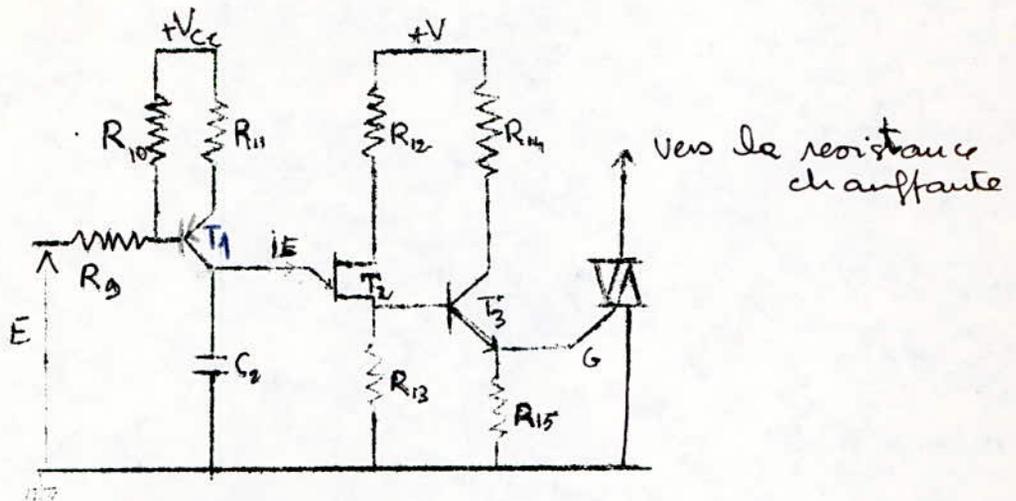


figure 18. schema de principe de l'etage actionneur. L'oscillateur à transistor unijonction  $T_2$  est commandé par le regulateur. Et ce par l'intermediaire d'un generateur de courant variable ( $T_1$ ). Celui ci charge la capacité  $C_2$  qui se decharge dans l'UJT quand la tension à ses bornes atteint la tension de pic  $V_p$ . L'impulsion obtenue sur la labse  $B_1$  de l'UJT est amplifiée en courant par le transistor  $T_3$ .

#### 5-4-1 LE GENERATEUR D'IMPULSION:

Nous disposons d'un transistor unijonction type 2N 3980 dont les caracteristiques essentielles sont:

- rapport intrinsèque  $0,66 < \mu < 0,82$ .
- tension interbase  $V_{B2 B1} < 35V$ .
- puissance maximale admissible  $P_{ca} = 360mW$ .

Ce transistor sera polarisé par une tension de 10V. Lorsque la tension aux bornes de la capacité  $C_2$  (tension d'émetteur  $V_E$ ) est inférieure à la tension de la cathode de la diode émetteur  $V_C$ , cette dernière sera polarisée en inverse et il ne circule qu'un très faible courant de fuite  $I_{EBO}$  de l'ordre de 0,01  $\mu A$ .

Quand  $V_E$  est supérieur à  $V_C$ , la diode est polarisée en direct et il circule un courant  $I_E$  qui injecte des porteurs minoritaires dans la résistance interne de l'UJT  $R_{B1}$ ; celle-ci est modulée et sa valeur diminue. De ce fait, la tension  $V_C$  diminue; si  $V_E$  est constante,  $I_E$  s'accroît, ce qui contribue à nouveau à réduire  $R_{B1}$ .

Ce phénomène se produit dès que  $I_E$  est plus grand que le courant de pic  $I_p$ . Le courant  $I_E$  est limité par la valeur de la résistance  $R_{B1}$  qui est alors de quelques ohms.

La tension  $V_E$  de retournement de pic est égale à  $V_p$  et est donnée par la relation:

$$V_p = M V_{BB} + V_D.$$

Où  $V_D$  est la chute de tension de la diode émetteur lorsqu'elle est parcourue par le courant  $I_p$ , soit environ 0,5V.

On prendra :  $\eta = 0,75$

$$V_{BB} = 10 \frac{R_{BB}}{R_{BB} + R_{12} + R_{13}}$$

$R_{12}$  est une resistance qu'on intercale entre  $B_2$  et la tension d'alimentation, on prendra:

$$R_{12} = 100 \Omega$$

$R_{13}$  permet de fixer la duree de l'impulsion,  $R_{13} = 200n$  (nous expliquerons ulterieurement ce choix).

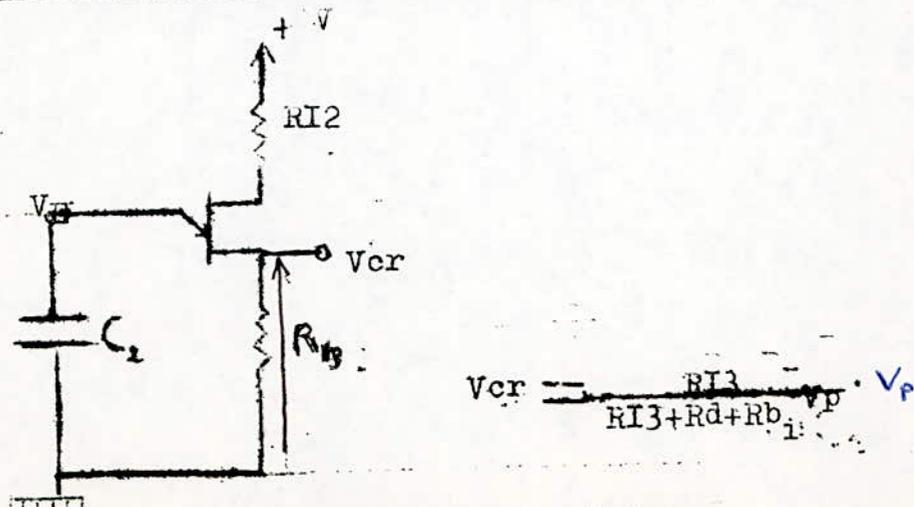
$R_{BB}$  : resistance interbase du transistor:  $R_{BB} = 7 kn$ , on peut calculer  $V_{BB}$ :

$$V_{BB} = \frac{10 \times 7}{7 + 0,2} = 10V.$$

La tension de pic sera alors:

$$\begin{aligned} V_p &= \eta V_{BB} + V_D \\ &= 0,75 \times 10 + 0,5 = 8V. \end{aligned}$$

CALCUL DE LA VALEUR CRETE DE L'IMPULSION:



$$V_{cr} = \frac{R_{12}}{R_{12} + R_d + R_{b_i}} \cdot V_p$$

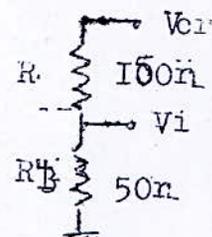
fig.20. le generateur d' impulsions.

$R_D$  : résistance dynamique de la diode émetteur.  
 Lors de la décharge de la capacité, nous pouvons faire l'approximation suivante:

$$R_D = R_{B1} \ll R_{13}$$

d'où la tension de crête de l'impulsion:

$V_C = V_p = 8V$ . Pour avoir une impulsion de 2V, il suffit d'utiliser un pont diviseur.



DUREE DE L'IMPULSION:

La durée de l'impulsion doit être suffisante pour permettre au triac de s'amorcer. elle est égale au temps de décharge de la capacité.

$$V_v = V_p \text{ Exp} \left( - \frac{t_d}{R_{13} C} \right)$$

$V_v$  = Tension de vallée

On en déduit:  $t_d = R_{13} C \text{ Ln} \left[ \frac{V_p}{V_v} \right]$

or  $C_g = 0,1 \mu\text{F}$  et  $R_{13} = 200 \Omega$ .

d'où:  $t_d = 0,1 \times 10^{-6} \times 200 \text{ Ln} \frac{8}{2} = 11 \mu\text{s}$ .

Ce temps est largement suffisant pour amorcer le triac.

4.2. L'AMPLIFICATEUR DE COURANT.

Le courant maximal d'amorçage du triac (type TAC 251 - 1800) est  $I_{max} = 50 \text{ mA}$ .

Le transistor  $T_3$  (2N2222) permet d'amplifier le courant de l'impulsion. Il sera bloqué lorsque  $T_3$  ne conduit pas.

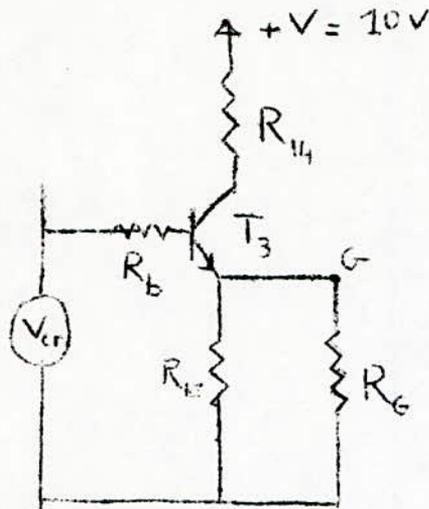


fig. 21.:  
l'amplificateur de  
courant.

$$R_B = R_{13} // R_{12} + R_{B2} // R_D.$$

$V_{cr}$ : tension de crête de l'im-  
-pulsion.

$$R_E = R_{15} // R_G.$$

où  $R_G$  est la résistance de la  
gâchette.

Les équations qui nous permettront de calculer  $R_{14}$   
et  $R_E$  sont :

$$V_{cr} = R_b I_b + R_E I_E + V_{BE}. \quad (1)$$

$$V = (R_{14} + R_E) I_E + V_{CE}. \quad (2) \quad (I_E \approx I_C)$$

Soit  $B$  le gain en courant du transistor T3:

prenons  $B = 100$ .

l'équation (1) devant :

$$V_{cr} = \left( \frac{R_b}{100} + R_E \right) I_E + V_{BE}.$$

nous pouvons négliger  $\frac{R_b}{100}$  devant  $R_E$ ;

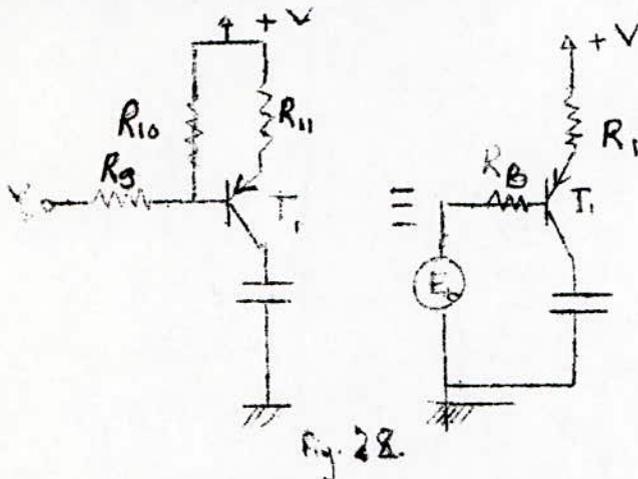
alors,  $V_{cr} = R_E I_E + V_{BE} \cdot 100$ .

$$R_E = \frac{V_{cr} - V_{BE}}{I_E} = \frac{2,1 - 0,6}{40 \cdot 10^{-3}} = 35 \Omega$$

$$R_{14} = \frac{V - V_{CE}}{I_E} = 220 \Omega$$

La résistance de la gâchette du triac étant de l'ordre de 30Ω, et choisir une résistance R<sub>15</sub> très grande devant 50Ω pour que I passe presque entièrement à travers la gâchette soit; R<sub>15</sub> = 1kΩ.

4-3. LE GENERATEUR DE COURANT.



$$R_B = \frac{R_g R_{10}}{R_g + R_{10}}$$

$$E_b = \frac{R_g V_{cc}}{R_g + R_{10}}$$

Fig. 28.

Le transistor T<sub>1</sub> est polarisé par imposition du courant de base. Les résistances R<sub>10</sub> et R<sub>11</sub> doivent donc être choisies de façon à permettre une bonne stabilité en température.

La stabilité en température est représenté par un coefficient S appelé facteur de stabilité:

$$S = \frac{\partial I_c}{\partial I_{CB}}$$

la plus grande stabilité sera obtenue pour S = 1, elle sera bonne pour S ± 5 et moyenne pour S ± 10.

$$I_c = (\beta + 1) I_{CBO} + \beta I_B$$

$$1 = (\beta + 1) \frac{I_{CBO}}{I_c} + \frac{\beta I_b}{I_c} = (\beta + 1) \frac{1}{S} + \frac{\beta I_B}{I_c}$$

$$S = \frac{\beta + 1}{1 - \beta \frac{I_b}{I_c}}$$

pour déterminer  $\left(\frac{\partial I_b}{\partial I_c}\right)$  écrivons l'équation suivante:

$$V_{cc} - E_B = R_{11} I_E - V_{BE} + R_b I_b \quad ; \quad I_E = I_c$$

$$\text{d'où } \frac{\partial I_b}{\partial I_c} = - \frac{R_{11}}{R_{11} + R_b}$$

$$R_b = R_{10} // R_9.$$

Le transistor doit être bloqué lorsque la jonction base-emetteur est polarisée en inverse.

Pour cela, il faut que  $R_9$  soit très grande devant  $R_{10}$ .

$$\text{donc } R_b = R_{10}$$

$$\text{on déduit } S: S = \frac{\beta + 1}{1 + \frac{\beta R_{11}}{R_{11} + R_{10}}}$$

pour obtenir la meilleure stabilité, on choisit :

$S = 2$ ; Ce qui implique:

$$\frac{R_{11}}{R_{11} + R_{10}} = \frac{1}{2} \text{ d'où } R_{10} = R_{11}$$

nous prendrons  $R_{10} = R_{11} = 1\text{kn}$

$$\text{et } R_9 = 10\text{kn}$$

D'ALIMENTATION:

L'alimentation des amplificateurs operationnels et des transistors est obtenue à l'aide du montage suivant:

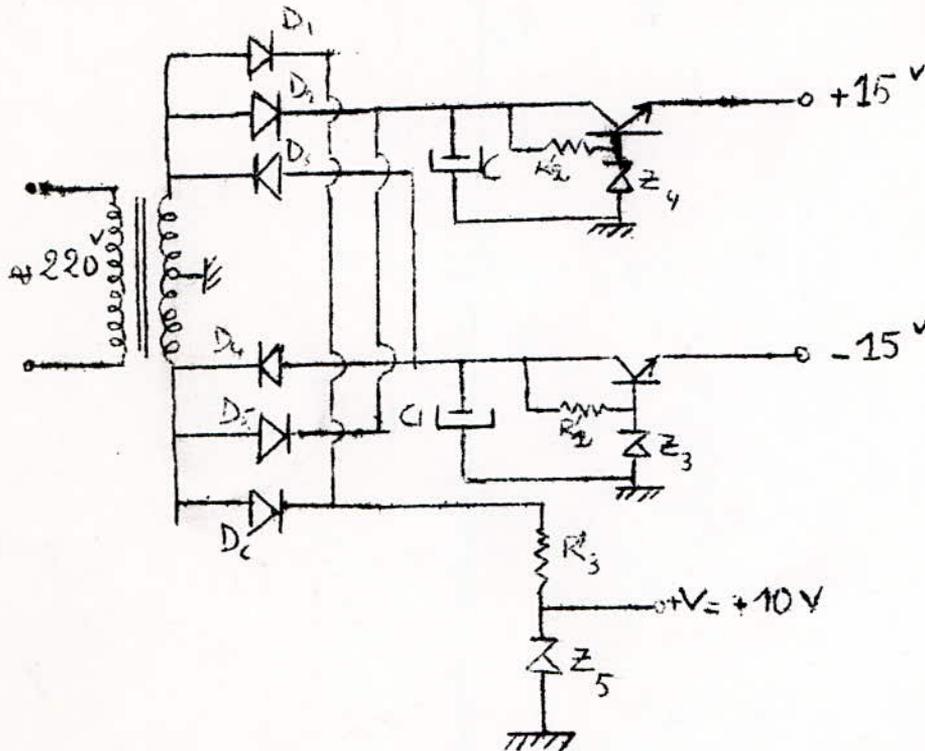


fig.23. schema de l'alimentation du circuit.

Le transformateur fournit une tension de  $2 \times 12V$ .  
 cette tension alternative est redressé par le diode  $D_1$  à  
 $-D_6$  les condenseurs  $C_2$  et  $C_3$  permettent le filtrage  
 pour l'obtention des tension  $+15V$  et  $-15V$  quæ se trou-  
 -vent respectivement appliqueés aux collecteurs de 2 trans-  
 -sistors de moyenne puissance.

Ces transistors ont leur bases maintenues à des potentiels fixes grâce aux diodes zeners  $Z_3$  et  $Z_4$  les resistances  $R_1$  et  $R_2$  chutent la tension de 17V à 15,5V et limitent le courant de base.

La tension trapézoïdale est simplement obtenue par êcretage de la tension redressée. Et ce, à l'aide de la diode zener  $Z_5$  de = 10V.

Calcul des éléments:

La tension est redressée, puis filtrée par la capacité C est:

$$V = \sqrt{2} \times 12 = 17V.$$

$$V_{CC} = V_B - V_{BE} = 15 - 0,6 = 14,4V$$

$$V_{CE} = V - V_{CC} = 2V.$$

$$R_Z = \frac{V_1 - V_B}{I_B} = \frac{17 - 15}{12 \cdot 10^{-3}} = 160\Omega$$

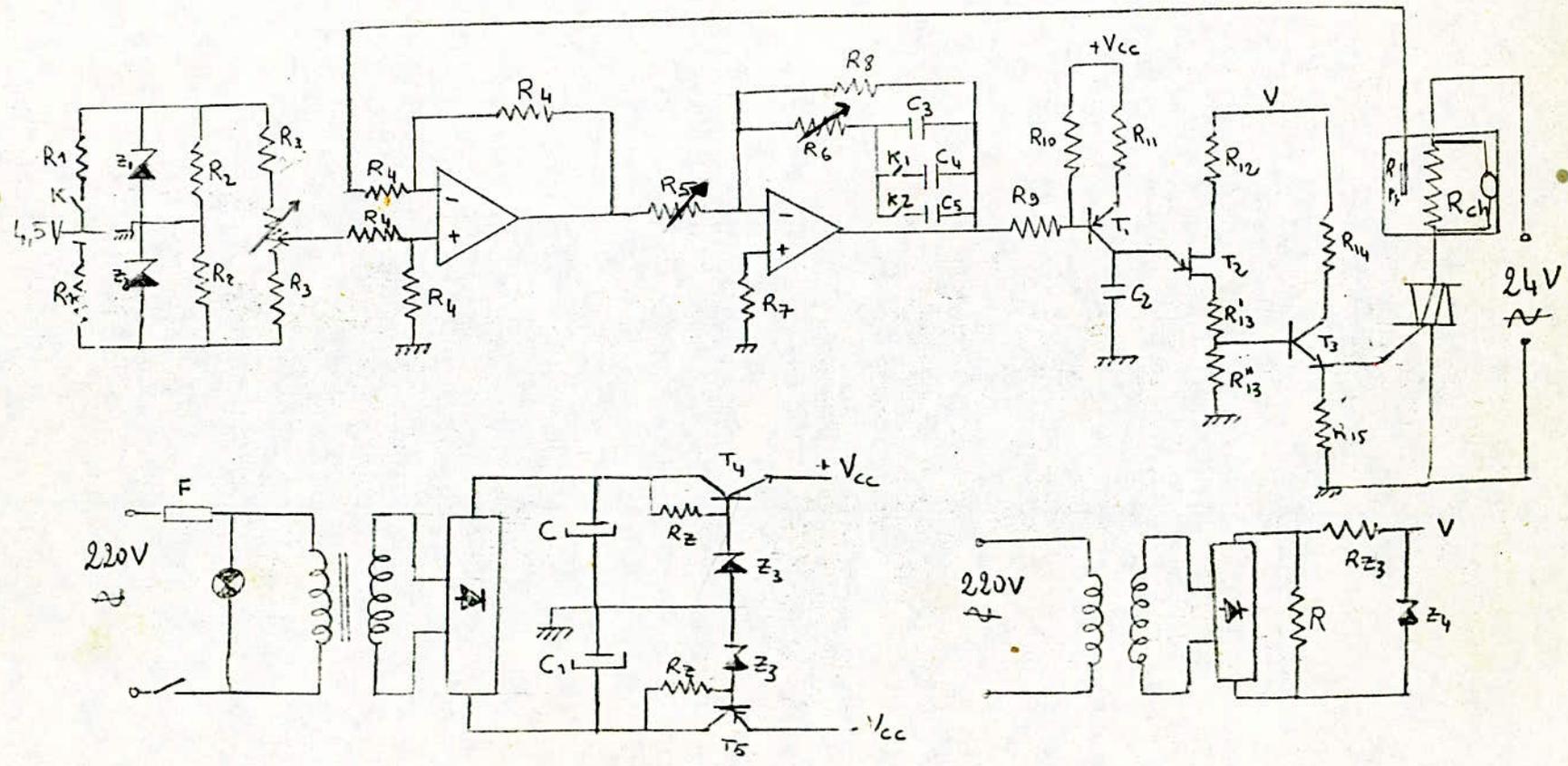
on prend  $C = 1000\mu F$  (325V):

$$R_{Z3} = \frac{V - V_{Z3}}{I_E} = \frac{17 - 10}{12 \cdot 10^{-3}} = 583\Omega$$

La puissance est de 0,5W.

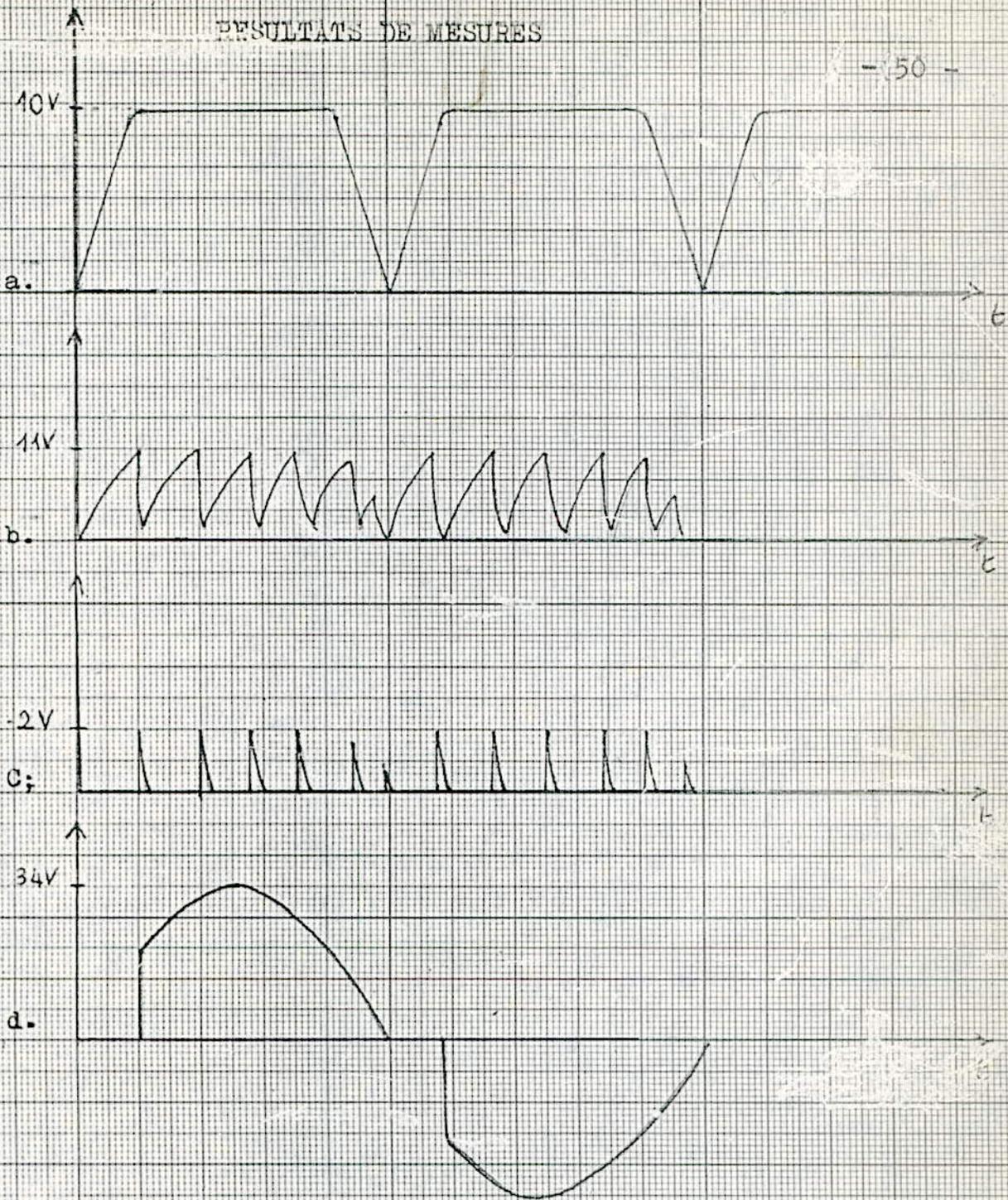
# Schema de principe du regulateur.

-49-



RESULTATS DE MESURES

-50-



- a: l'alimentation de l'UJT
- b: tension aux bornes de C2
- c: impulsions de gachette
- d: tension aux bornes de la charge.

CHAPITRE V.

DEVIS TECHNIQUE.

-NOMENCLATURE-

Resistances: (0,5W)  
-----

- RI: 0,5kn
- R2: 10kn
- R3: 22kn
- R4: 100kn
- R5: 25kn
- R6: 1mn
- R7: 24kn
- R8: 10mr
- R9: 10kn
- R11: 1kn
- R12: 100n
- R13: 150n
- R"13: 50n
- R14: 220n
- R15: 1kn
- Rz1: 160n
- Rz2: 160n
- Rz4: 503n
- PI: 1Mn

Capacités.  
-----

- C: 1000µF(25V)
- C1: 1000µF
- C2: 0,1µF
- C3: 100µF
- C4: 100µF
- C5: 100µF.

Diodes:

- Z1: BZX 46C (1,8V)
- Z2: BZX 46C (1,8V)
- Z3: BZX 46C (1,5V)
- Z4: BZX 46C (1,5V)
- Z5: BZX 46C (10V)

Transistors:  
-----

- T1: 2N 2907
- T2: 2N 3980
- T3: 2N 2222
- T4: BC109
- T5: \* 2N2907.

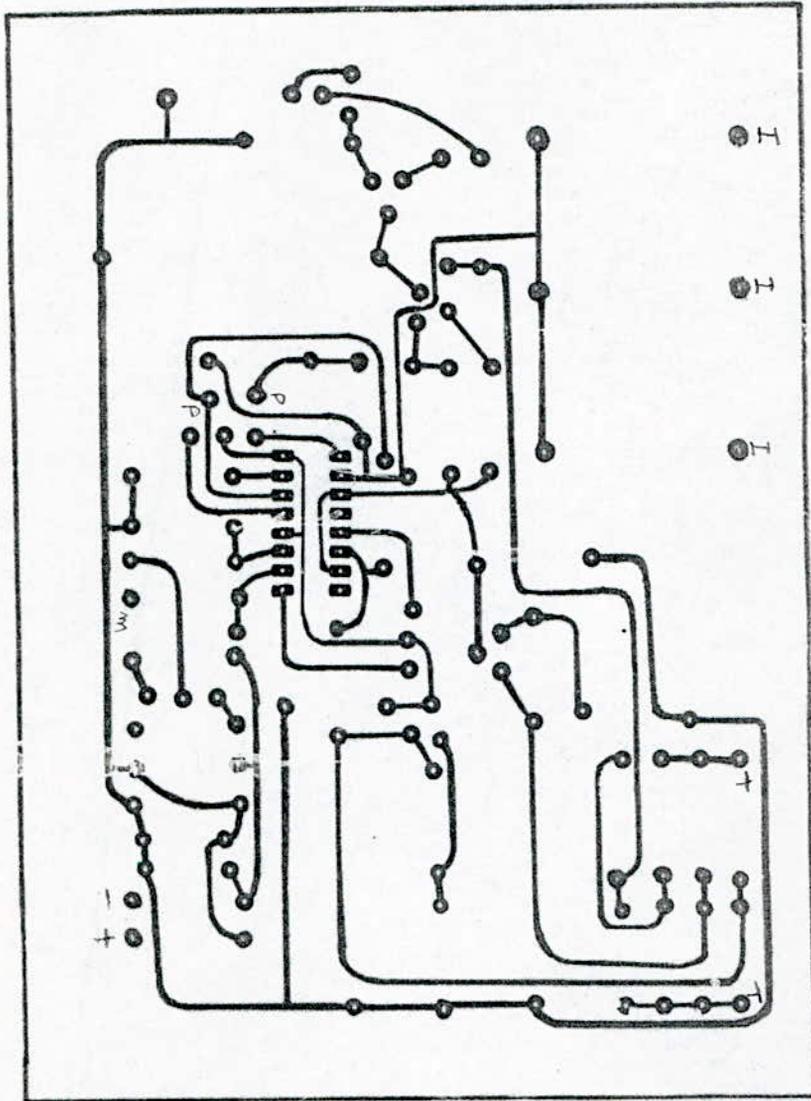


Fig. 5.4 Circuit imprimé.

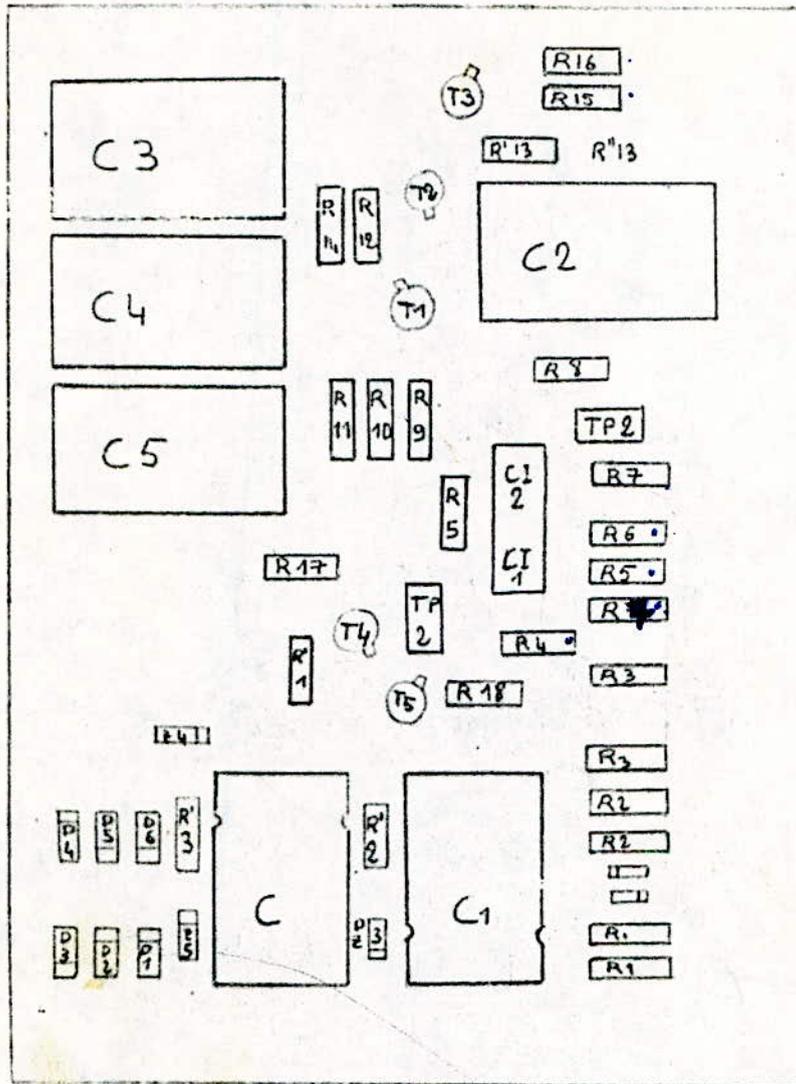
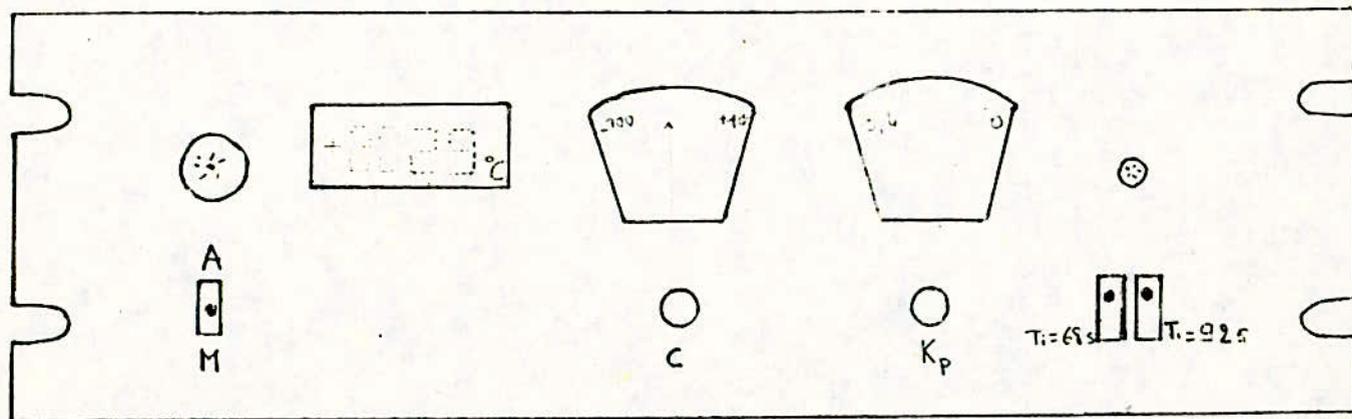


fig. 5.2 SCHEMA DU MONTAGE

---

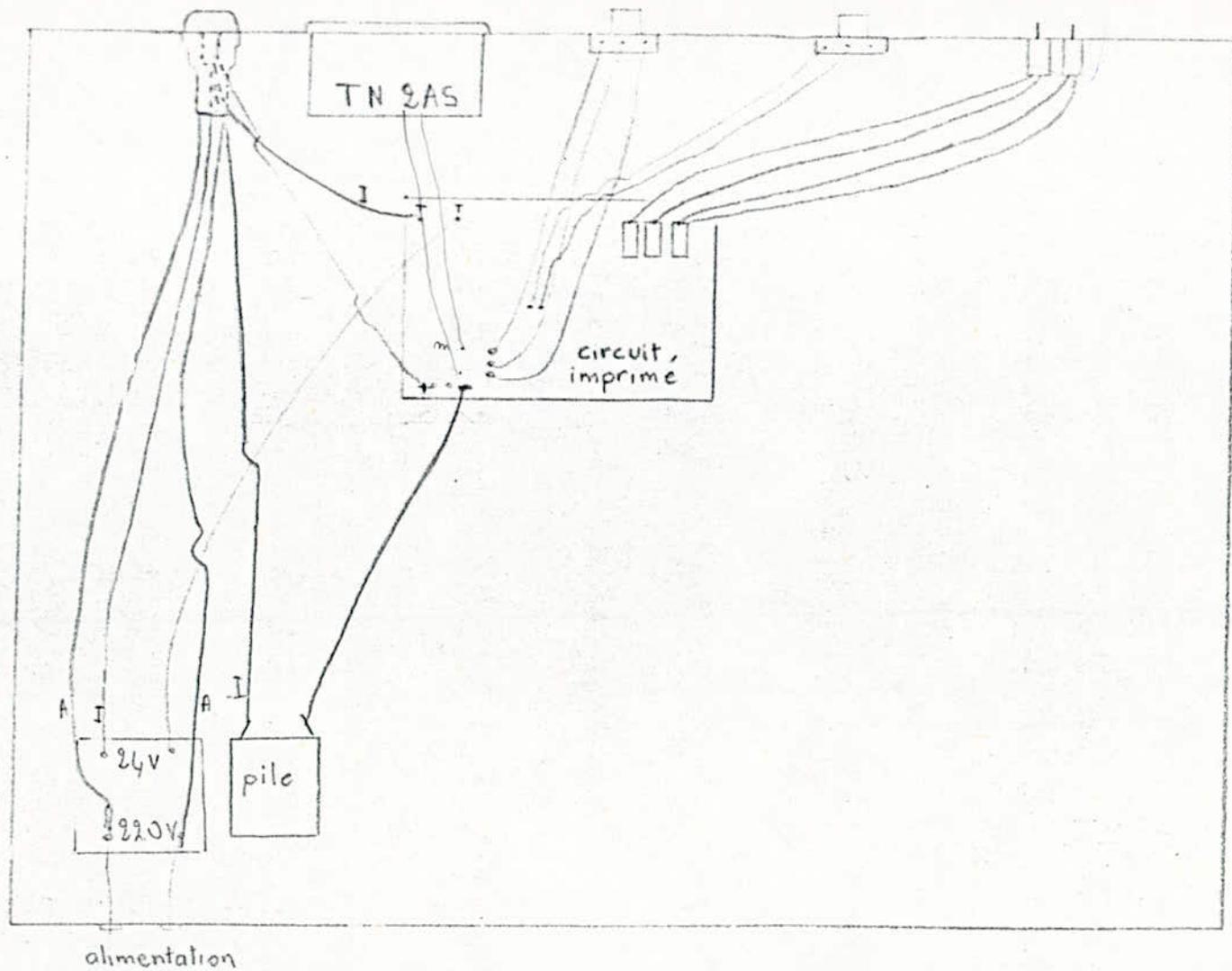
# Vue de face du boîtier



- ☼ : Voyant lumineux
- c : réglage de la consigne
- $K_p$  : réglage de la sensibilité proportionnelle.

fig. 5.3

fig. 5.4- Schema d'implantation



( ) CONCLUSION: ( )

Le but de notre étude a été la réalisation d'un régulateur de température, utilisable dans les laboratoires de l'institut de physique de l'USTHB. Il sera donc utilisé avec un thermomètre numérique type 2 AS. Notre souci a été de le réaliser avec un minimum de composants. Ces derniers, choisis parmi les plus disponibles.

Pour l'améliorer, on pourra prévoir plusieurs entrées pour permettre l'interchangeabilité des capteurs, ainsi que des circuits de protection et stabilisation plus performants.

\* ANNEXE \*

- THERMOMETRE NUMERIQUE TYPE T N 2AS

I - DESCRIPTION DE L'APPAREIL

Cet appareil est un thermometre à affichage numérique. Il permet la mesure de température avec une sonde platine dont la resistance est de  $10 \Omega$  à  $0^{\circ}\text{C}$  de  $-200^{\circ}\text{C}$  à  $+1000^{\circ}\text{C}$

Ces dimensions sont de 25 X 75mm et sa profondeur de 117 mm

L'affichage comporte 4 indicateurs numériques à diode électroluminescentes (LED)

II - CARACTERISTIQUES:

1 - Caracteristiques fonctionnelles :

- Lecture directe en  $^{\circ}\text{C}$
- La resistance de ligne doit être  $< 50 \Omega$
- Température de fonctionnement :  $0^{\circ}\text{C} - 50^{\circ}\text{C}$ .
- Sensibilité  $1\text{mV}/^{\circ}\text{C}$

2- Caractéristiques de la sonde :

La sonde utilisée est une sonde PSoT6



La partie sensible contient une sonde à résistance de platine (conforme à la norme DIN 43760) utilisable de  $-200^{\circ}\text{C}$  à  $+500^{\circ}\text{C}$

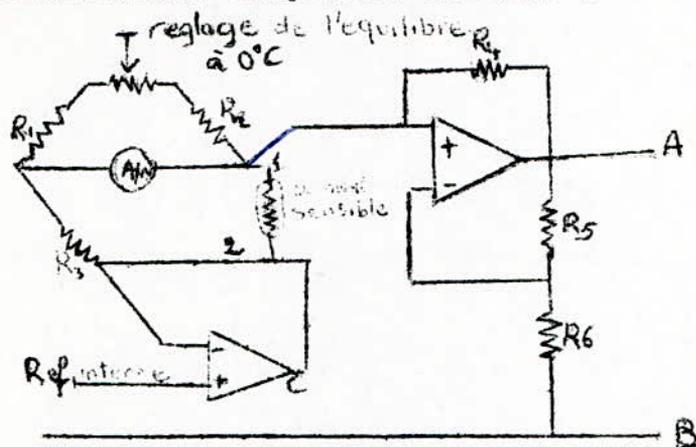
La mesure à une signification si les 40 mm de la zone sensible sont à la même température.

..../....

.../...

### III - PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT :

Le thermomètre numérique TN 2 AS répond au diagramme de fonctionnement simplifié suivant :



La sonde platine reliée par 3 fils est incluse dans un pont de Wheastone.

Pour corriger l'erreur de linéarité de la sonde et du pont, un courant de correction proportionnel à la valeur du déséquilibre du pont est injecté dans la sonde.

La mesure de déséquilibre du pont est ensuite effectuée par le convertisseur analogique - numérique

#### - CORRECTION DE RESISTANCE DE LIGNE :

L'égalité des résistances des fils 1 et 2 permet de conserver l'équilibrage du pont.

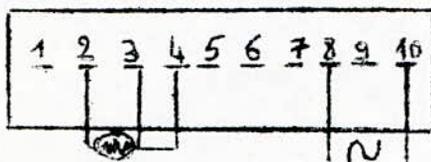
Un amplificateur opérationnel permet de tenir compte de la chute de tension dans les lignes 1 et 2 en imposant une tension au point bas du pont (point c), telle que la sensibilité soit conservée.

- SORTIE ANALOGIQUE :

La tension entre les points A et B proportionnelle à la valeur de la température de la sonde.

Cette tension, après isolement, est disponible sur le connecteur à l'arrière de l'appareil (points 6 et 5) du connecteur

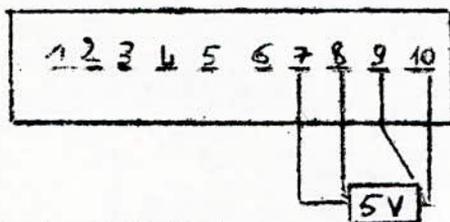
Câblage du connecteur :



a) Alimentation 220 V :

Les fils secteurs sont branchés aux bornes 8 et 10 du connecteur.

L'appareil peut-être alimenté par une alimentation de 5 V, le branchement se fait alors de la manière suivante :



b) Branchement de la sonde :

La sonde est branchée en 3 fils aux bornes 2,3, et 4

c) Sortie analogique :

Disponible entre les bornes 6 et 5 du connecteur  
La borne 6 est le point bas de la sortie.

\* BIBLIOGRAPHIE \*

- 1 - Theorie et calcul des asservissements linéaires
  - P. DECAULNE
  - M. PELEGRIN
- 2 - Technique de la régulation industrielle, - D. DINDELEUX
  - Ed. EYROLLES.
- 3 - Régulation automatique industrielle - D.P ECKMAN -
- 4 - Amplificateurs et comparateurs, - M. AUMIAUX -
- 5 - Thyristors et triacs, - H. LILEN - Ed. RADIO.
- 6 - Basse fréquence calculs et schéma, R. AMATO Ed. RADIO.
- 7 - Principes d'électroniques, MALVINO
- 8 - Mesures électroniques, U. ZELBSTEIN - DUNOD -.
- 9 - Instrumentation Industrielle, M. CERR
- 10 - Les montages à transistors au laboratoire et dans
  - L'industrie - H. SCHREIBER - Ed - RADIO.
- 11 - Revues électronique : électronique Industrielle
  - ( Fev. 82)
- 12 - Mesure des températures A. NIETO et F. PAUL - Ed. RADIO
- 13 - Projet de fin d'étude : " Régulation analogique dans
  - l'industrie, simulation d'un cas pratique "
  - B. BERKAOUI et A. MADANI -
- 14 - Le Thyristor , M HELBERT .