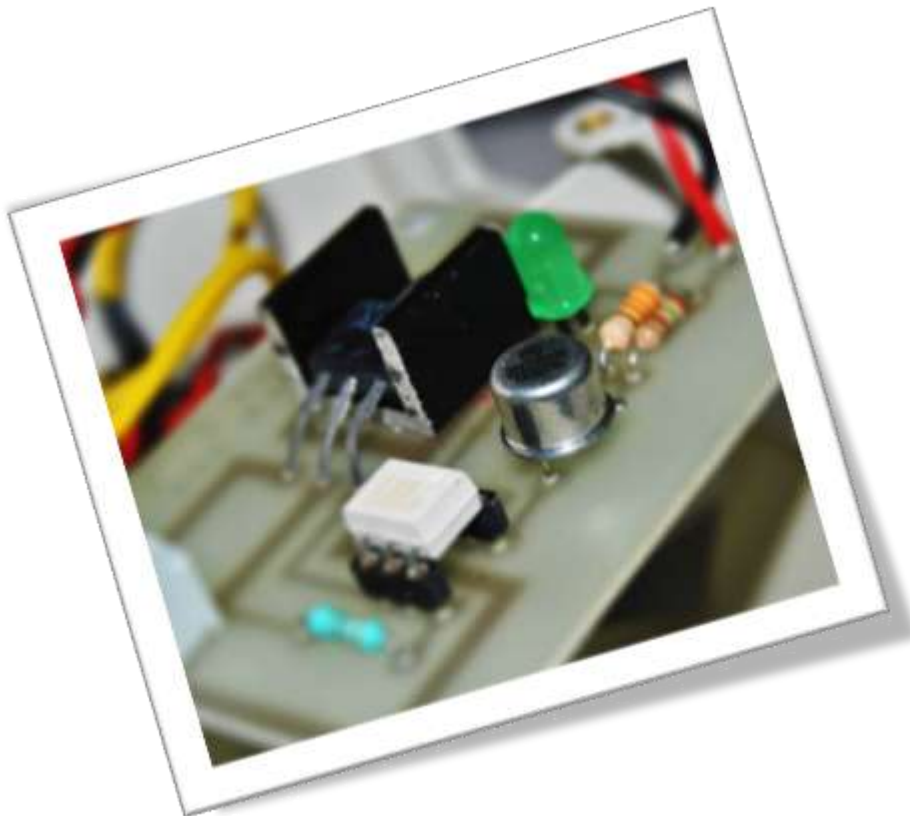


Régulation de Température « tout ou rien »



Etudiants :

Mélody CAILLER

Hélène CUCU

Youri PORTAILLER

Aiwei SUN

Nathalie VALLEE

Bukhari YUSOF

Enseignant-responsable du projet :

François GUILLOTIN

Cette page est laissée intentionnellement vierge.

Date de remise du rapport : 18/06/2011

Référence du projet : STPI/P6-3/2011 – 030

Intitulé du projet : **Régulation de température « tout ou rien »**

Type de projet : **expérimentale (compréhension d'un système)**

Objectifs du projet :

Le premier objectif est de comprendre le fonctionnement des différentes parties d'un régulateur de température tout ou rien. En outre, nous avons cherché à déterminer les solutions techniques répondant à notre cahier des charges à savoir réaliser la régulation de la température d'un bassin d'eau chaude.

Le second objectif est de développer nos capacités de travail en équipe dans la réalisation d'un projet.

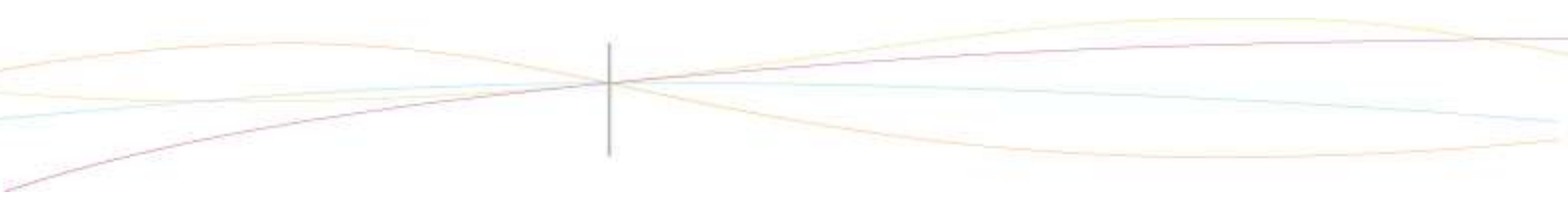
Mots-clefs du projet : **régulation, relais statique, hystérésis**

TABLE DES MATIERES

| | |
|---|----|
| 1. Introduction | 7 |
| 2. Méthodologie / OrgaNisation du travail | 8 |
| | 9 |
| 3. TRAVAIL réalisé et résultats | 10 |
| 3.1. Le thermomètre électrique | 10 |
| 3.1.1. Etage A0 et A1 : le capteur de température1 | 10 |
| 3.1.2. Étages A2 et A3 | 13 |
| 3.1.3. Résultats des tests | 14 |
| 3.2. La consigne | 15 |
| 3.2.1. Définition et réalisation | 15 |
| 3.2.2. Fonctionnement d'une résistance variable en rhéostat : | 15 |
| 3.2.3. Calcul de la valeur des résistances R7 et R8 | 16 |
| 3.2.4. Résultats expérimentaux : | 17 |
| 3.3. Le comparateur à hystérésis inverseur | 18 |
| 3.3.1. Rôle du comparateur/régulateur | 18 |
| 3.3.2. Notre réalisation | 19 |
| 3.3.3. Calcul des résistances R9 et R10 : | 19 |
| 3.3.4. Résultats expérimentaux..... | 21 |
| 3.3.5. La diode Zener | 21 |
| 3.4. Le relais statique..... | 22 |
| 3.4.1. Définition..... | 22 |
| 3.4.2. Avantages et inconvénients | 23 |
| 3.4.3. Notre réalisation | 23 |
| 3.4.4. Le triac..... | 25 |
| 3.5. Schéma général..... | 26 |
| 4. Conclusions et perspectives..... | 27 |
| 4.1. Conclusions sur le travail réalisé | 27 |
| 4.2. Conclusions sur l'apport personnel de cet E.C. projet..... | 27 |
| 4.3. Perspectives pour la poursuite de ce projet..... | 28 |
| 5. Bibliographie | 29 |
| 6. Annexes | 30 |

REMERCIEMENTS

Nous souhaitons profiter de ce dossier pour remercier notre encadrant Mr Guillotin pour ses explications et son aide au cours du projet. Nous souhaitons également remercier les techniciens pour leurs conseils et leur présence.



NOTATIONS, ACRONYMES

TOR: "Tout ou rien"

U_C : Tension consigne

U_S : Tension en sortie du comparateur

U_T : Tension en sortie de la diode Zener

$U_f = E_3$: Tension en sortie de l'étage A3

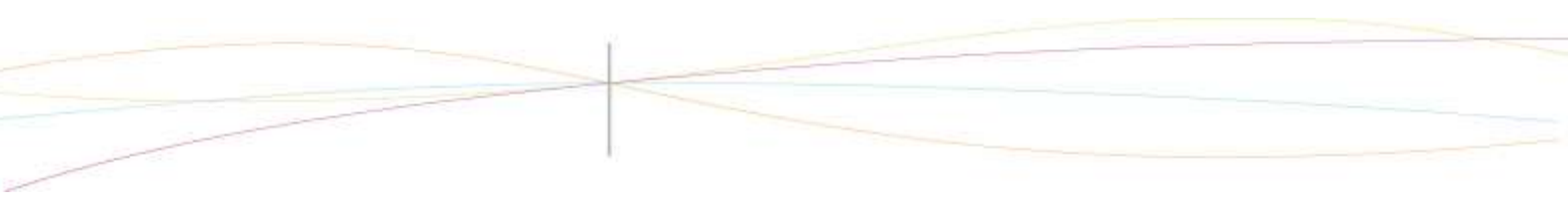
U_Z : Tension aux bornes de la diode zener

U_P : Tension aux bornes de la résistance réglable

E_0 : Tension aux bornes de la sortie de l'étage A1

U_d : Tension aux bornes de la diode (capteur de température)

E_2 : Tension aux bornes de la sortie de l'étage A2



1. INTRODUCTION

La notion de régulation d'un système dynamique est présente partout dans les domaines de l'industrie qu'il s'agisse de la chimie ou de l'énergétique. Il est donc primordial en tant que futurs ingénieurs de comprendre ce dispositif très répandu dans la plupart des processus industriels.

La régulation permet de maintenir une grandeur physique (grandeur réglée) à une valeur constante (consigne) quel que soit les perturbations créées par l'environnement. Généralement, c'est l'action d'une grandeur dite « réglante » sur le processus c'est-à-dire le composant que l'on veut réguler qui permettra cette régulation.

Dans le cadre de notre projet, nous nous sommes penchés sur la régulation de température « tout ou rien ». Le tout ou rien consiste à partir d'une valeur de chauffage désiré (consigne) à déclencher le chauffage quand la température mesurée est inférieure à la température voulu et à l'arrêter lorsque la température mesurée est supérieur.

Pour prendre un exemple de système que beaucoup de gens utilisent au quotidien, surtout en hivers, le thermostat d'une chaudière fonctionne en tout ou rien. L'utilisateur entre la valeur de température qu'il veut pour sa maison, en fonction de cette température dite de consigne et en toute logique quand il fait plus froid que la consigne la chaudière se met en route et quand il fait plus chaud elle s'éteint.

La grandeur réglée est la température, la grandeur réglante, qui va être utilisée pour transmettre les informations aux différents composant dans le système électrique est la tension.

Le principe de fonctionnement du régulateur TOR peut être expliqué simplement comme suit. Tout d'abord, le capteur de température mesure une température qu'il convertie sous forme d'une tension transmise au comparateur. Ensuite, cette tension est comparée avec la tension dite consigne correspondant à la valeur de température réglée par l'utilisateur. Enfin, en fonction de la valeur de la tension en sortie du comparateur le relais statique enclenche ou non l'enclenchement de l'organe de chauffage.

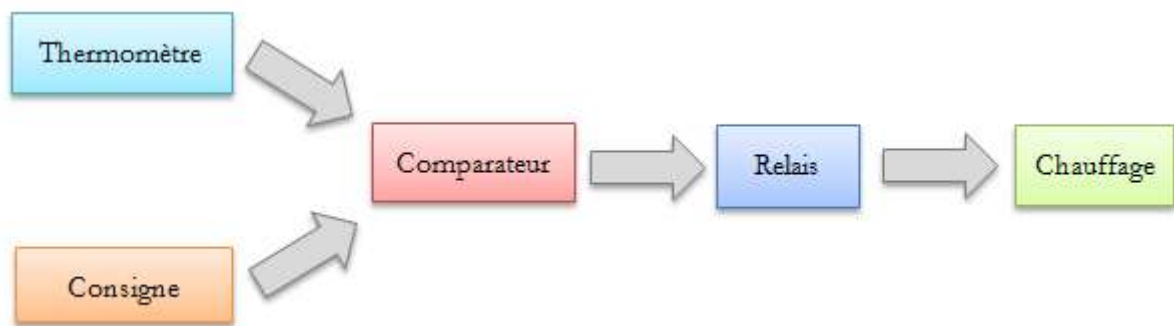
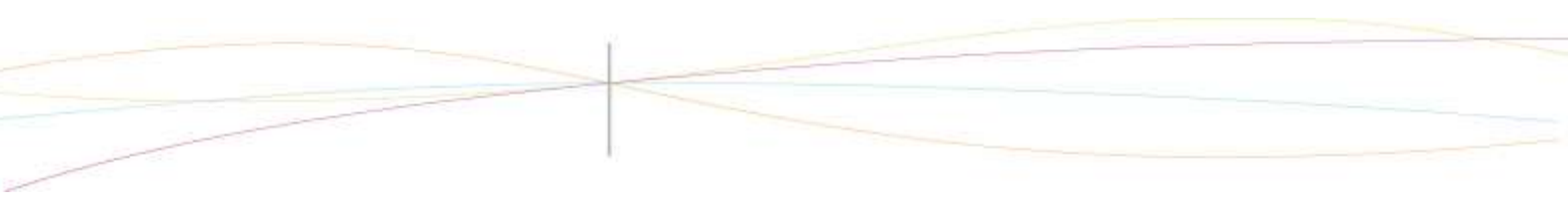


Figure 1 : Schéma général du principe de régulation de température TOR



2. METHODOLOGIE / ORGANISATION DU TRAVAIL

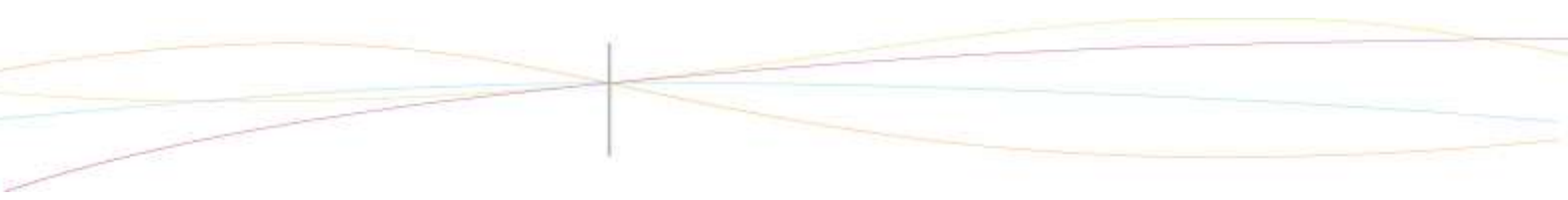
C'est la conjonction d'une organisation adéquate, et d'une méthodologie efficace qui permet la réussite d'un tel projet. Ainsi, nous avons travaillé à l'établissement d'une bonne répartition des tâches. Pour ce faire, nous nous sommes séparés en deux groupes de trois personnes, le premier s'est intéressé à la mesure de la température et le deuxième à la partie régulation en elle-même. Cette répartition dans les groupes s'est évidemment faite en considérant les difficultés imposées par la barrière de la langue. En effet, notre groupe étant constitué de 4 élèves francophones et 2 élèves étrangers, nous avons composé nos groupes afin qu'il contienne un étranger chacun.

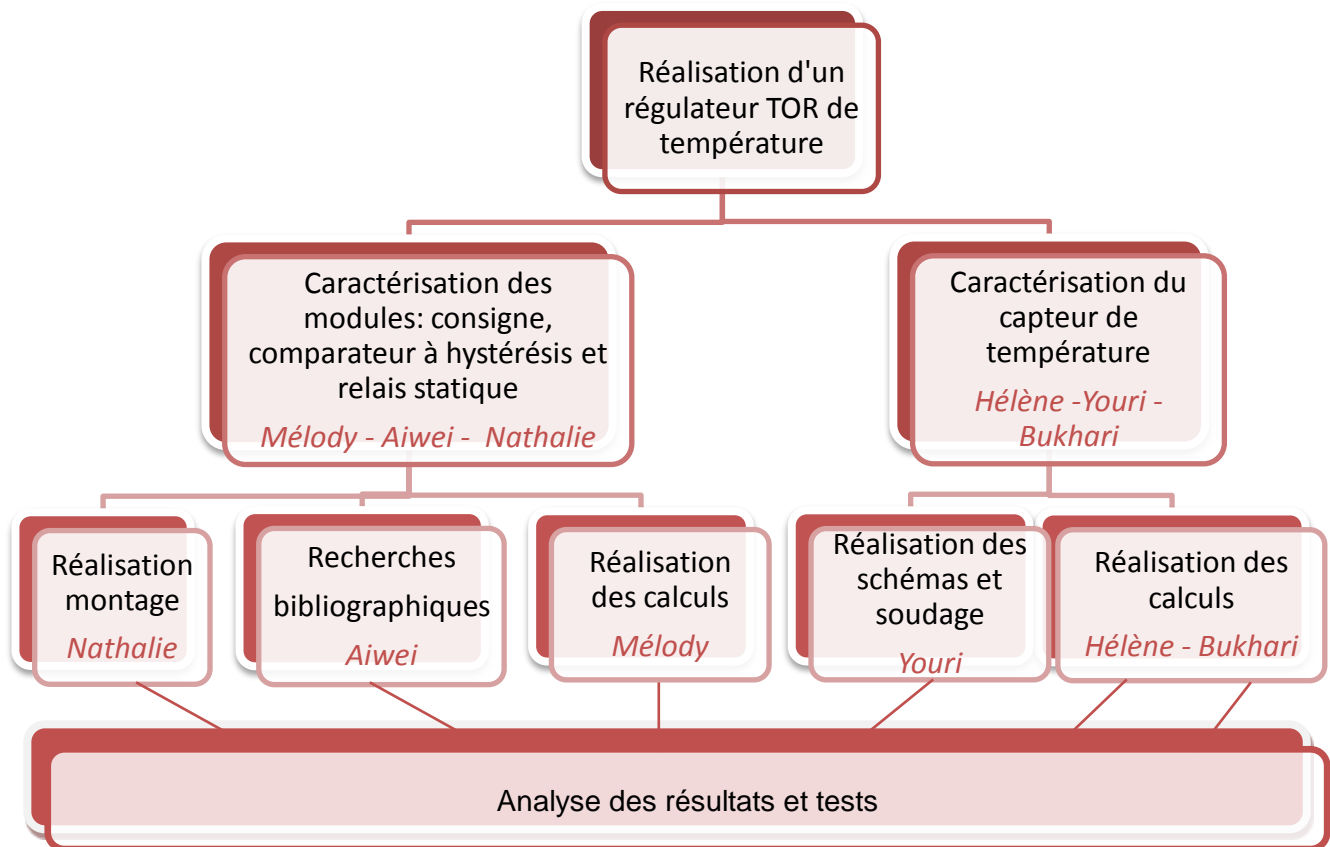
Au sein du groupe s'étant chargé des modules consigne, comparateur et relais, le travail s'est fait de façon collaborative. En effet, nous avons travaillé le plus souvent ensemble. Malgré le fait que nous ayons chacun des domaines de compétences particuliers, nous nous sommes attachés à travailler conjointement afin de conjuguer au mieux nos compétences. Néanmoins, afin d'accélérer notre avancée sur le projet, il s'est avéré parfois nécessaire de diviser les tâches au sein de ce sous-groupe. Ainsi, étant donné que notre démarche s'est à la fois appuyée sur l'expérimental et le théorique chacun s'est illustré dans le domaine dans lequel il était le plus compétent.

Par exemple, Nathalie plus à l'aise avec l'expérimental, a pris particulièrement en charge la mise en place des montages test et l'utilisation des appareils de mesure. Tandis que Mélody et Aiwei se sont concentrés sur la théorie en travaillant respectivement sur la réalisation des calculs et les recherches bibliographiques. Enfin, l'exploitation et l'analyse des résultats ont toujours été faites par tous. Nous étions trois à nous occuper de la réalisation du thermomètre électrique (Youri, Bukhari et Hélène).

Nous nous sommes ensuite répartis les tâches de la façon suivante. Youri s'est occupé dans un premier temps du dessin sur ordinateur (Micrografx) puis à la fin du projet, de la soudure des composants sur le circuit imprimé. Bukhari et Hélène se sont plus penchés sur les calculs des composants et sur les recherches bibliographiques. De cette manière nous sommes parvenus à répartir le travail de façon à ce que chacun soit dans le domaine où il est le plus à l'aise. Nous avons réalisé les tests tous les trois.

Bien que le groupe ait été séparé en 2 sous-groupes, nous avons bien évidemment réalisé des réunions chaque semaine en début de séance afin de faire un point sur l'avancée du projet.





Définitions et rôle dans le circuit

Le capteur de température a pour rôle de transformer une grandeur physique (ici la température du liquide) en une tension mesurable U_d . Pour cela, nous avons utilisé une diode silicium 1N4148. Une diode a pour propriétés de laisser passer le courant dans un sens (sens dit « passant ») et pas dans l'autre (sens dit « bloqué »). Le courant circule de l'anode à la cathode : dans le sens de la flèche du symbole.

La tension aux bornes de cette diode présente, lorsqu'elle est alimentée en courant constant, une sensibilité d'environ $-2,15 \text{ mV}/^\circ\text{C}$. L'étage 1 consiste avant tout à fournir ce courant constant et ceci à l'aide d'une diode Zener qui permet de stabiliser la tension de sortie. La diode Zener est une diode qui présente une tension inverse (tension Zener) ou tension d'avalanche. A la différence d'une diode ordinaire, la diode Zener est conçue de façon à laisser passer le courant inverse mais uniquement si la tension aux bornes du composant est plus élevée que le seuil d'avalanche. Nous avons choisi comme tension seuil la valeur $0,6\text{V}$.

Composants, description et calculs

Cet étage est constitué des composants suivants :

- Deux piles de 9V qui alimentent le thermomètre
- Une résistance R_z de $4,7\text{V}$
- Une diode Zener de tension $5,1\text{V}$
- D'une résistance réglable R_p qu'il faudra régler lors de l'expérience.
- D'une résistance R_0 de $10 \text{ k}\Omega$.

Grâce au principe du pont diviseur de tension, nous obtenons la valeur de la résistance réglable R_p :

$$\frac{R_p}{(R_p + R_0)} \times U_z = U_p$$

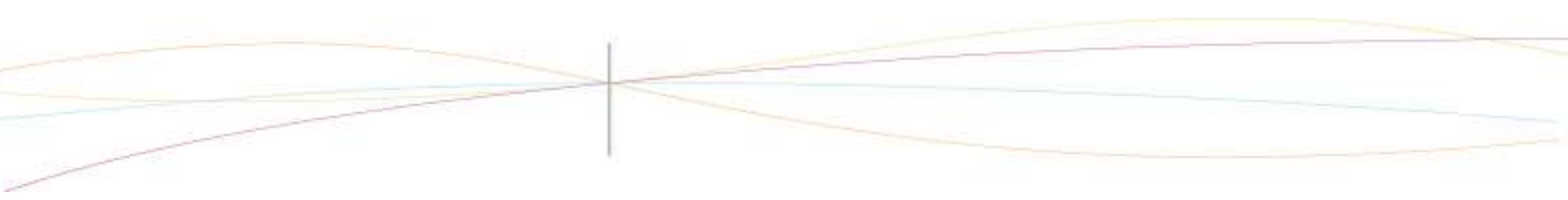
Grâce à une lecture du schéma et aux caractéristiques des différents composants, nous pouvons écrire les relations suivantes :

$$U_z = 5,1\text{V}$$

$$E_1 = U_D + E_0$$

$$E_2 = E_1 - U_z$$

$$E_3 = GE_2$$



De plus, nous savons que la tension U_D est une fonction affine de la température, on a donc :

$$U_D = a\theta + b \quad \text{avec } a = -2,15\text{mV}/^\circ\text{C} \text{ (sensibilité de la diode)}$$

$$\text{et } b = U_P = 0.6\text{V} \text{ (tension au borne de la résistance réglable à } \theta = 0)$$

Or on veut :

$$E_3 = 0\text{ V si } \theta = 0^\circ\text{C} \quad \text{et} \quad E_3 = 5\text{ V si } \theta = 100^\circ\text{C}$$

$$E_3 = GE_2$$

$$E_3 = G(E_1 - U_Z)$$

$$E_3 = G(U_D + E_0 - U_Z)$$

$$E_3 = G(a\theta + b + E_0 - U_Z)$$

$$\text{Donc si } \theta = 0 \text{ on obtient : } E_3 = G(b + E_0 - U_Z) = 0$$

$$\text{D'où } E_0 = -b + U_Z$$

$$E_0 = -0.6 + U_Z$$

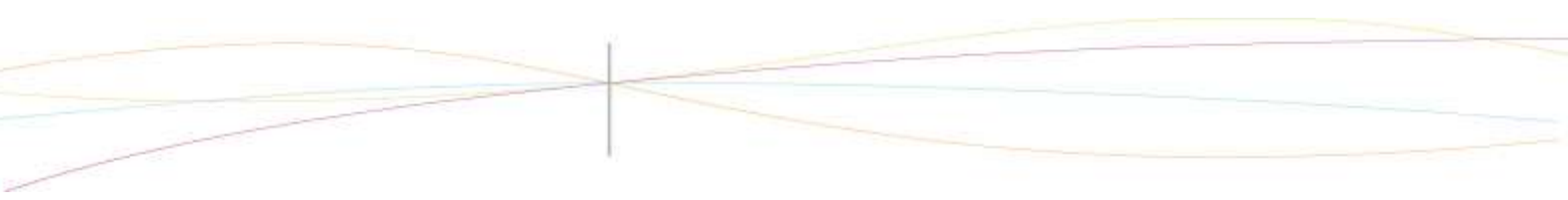
$$E_0 = -0.6 + 5,1 = 4,5\text{ V}$$

Reprenons l'expression donnée par le pont diviseur de tension :

$$\frac{R_p}{(R_p + R_0)} \times U_Z = U_P \Rightarrow R_p(U_Z - U_P) = U_P R_0$$

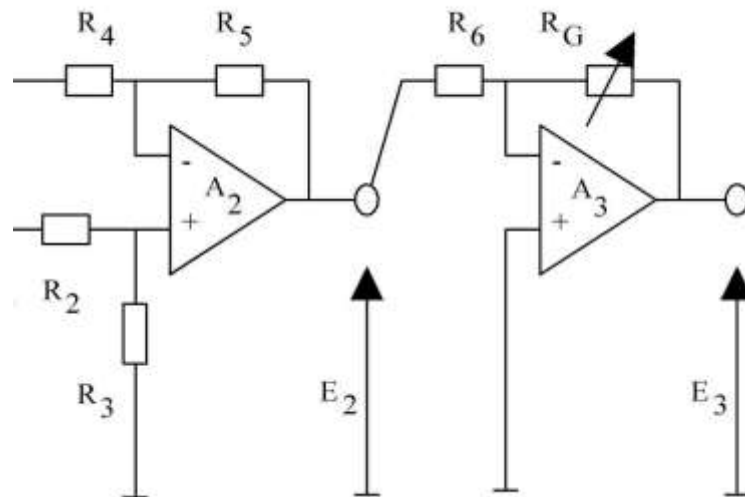
$$\Rightarrow R_p = \frac{U_P R_0}{(U_Z - U_P)}$$

$$R_p = \frac{0.6 \cdot 10 \cdot 10^3}{(5,1 - 0,6)} = 1333 \Omega$$



3.1.2. Étages A2 et A3

L'étage A2 correspond à un montage soustracteur qui sert à transformer la tension E_1 (qui est sous la forme de $E_1 = U_a + E_0$) en une tension $E_3 = k \cdot \theta$. C'est avec cette tension, proportionnelle à la température, qui va nous permettre de comparer la tension, donc la température du bain par rapport à la consigne donnée.



$$E_2 = E_1 - U_z$$

$$E_2 = U_D + E_0 - U_z$$

$$E_2 = a\theta + b + E_0 - U_z$$

Ici, il faut que $b + E_0 - U_z$ soit égale à 0 pour que E_2 soit proportionnelle à la température.

L'étage A3 correspond à un amplificateur inverseur. On cherche à inverser le signe négatif de la tension E_2 en une tension positive E_3 . Comme la tension est trop faible, il faut également chercher à l'amplifier.

$$E_3 = G \cdot E_2$$

$$E_3 = G \cdot a\theta = k \cdot \theta \text{ donc } k = \frac{\Delta E_3}{\Delta \theta}$$

On a prévu un rapport de 5V pour une augmentation de température de 0°C à 100°C, d'où $k=0,05$. On peut donc déterminer la valeur approximative de R_G . L'amplificateur est supposé idéal, et en régime linéaire on a $V_+ = V_- = 0$ (relié à la masse) donc le théorème de Millman s'applique.

$$\text{On a donc : } V_- = \frac{\frac{E_2}{R_6} + \frac{E_3}{R_G}}{\frac{1}{R_6} + \frac{1}{R_G}}$$

$$\text{Avec } \frac{E_2}{R_6} + \frac{E_3}{R_G} = 0$$

D'où le résultat :

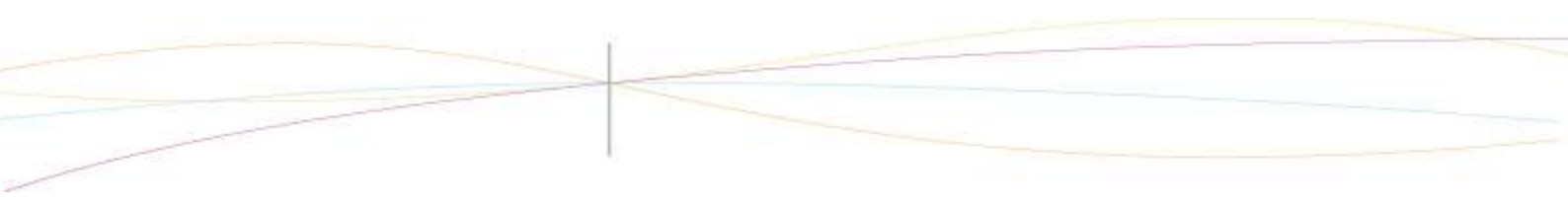
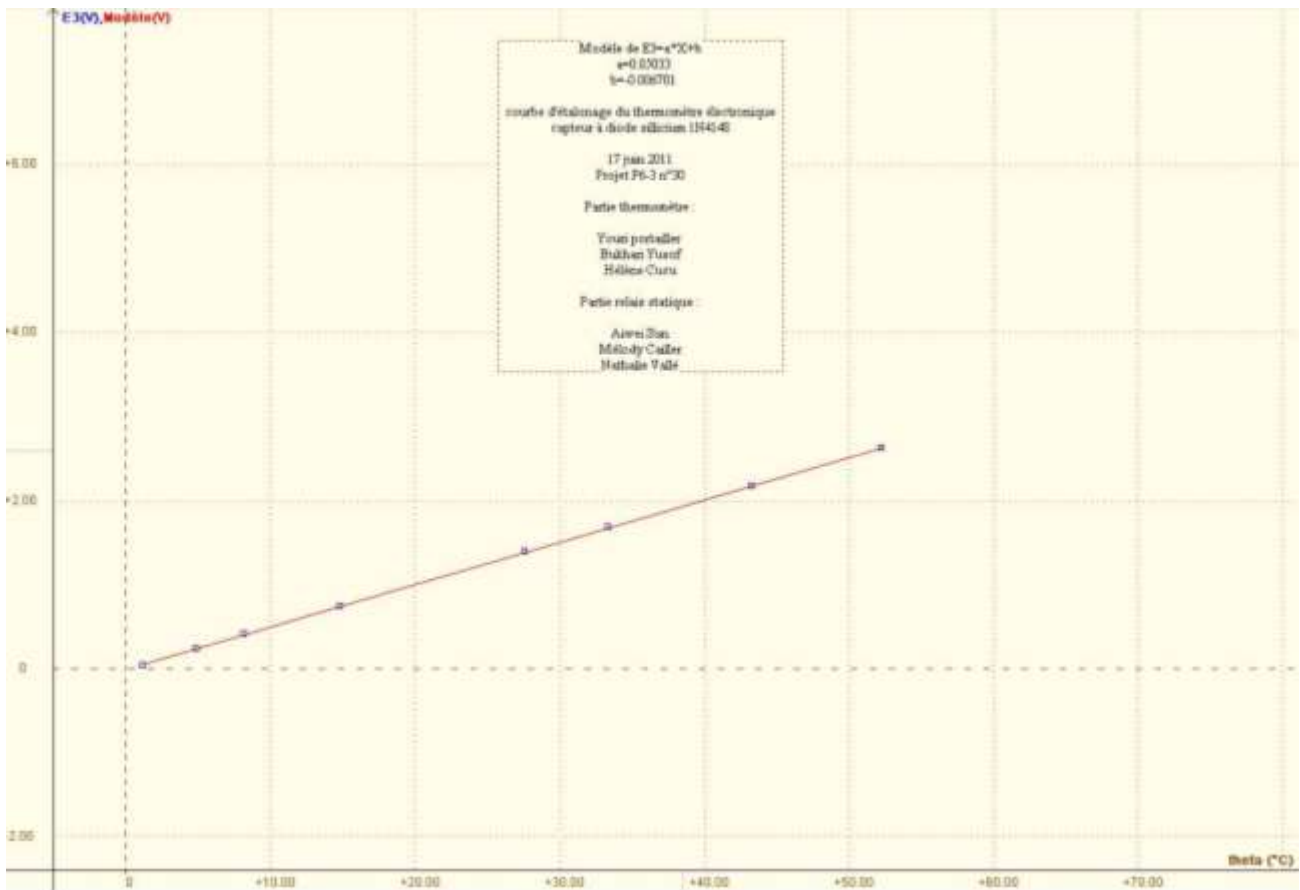
$$R_G = \frac{-k \cdot R_6}{a} = 23.2K\Omega$$

3.1.3. Résultats des tests

Nous avons effectué l'expérience avec une alimentation fixée à 9 V et de courant 100 mA au lieu d'utiliser des piles comme prévu initialement.

Dans un premier temps, nous avons dû régler le circuit. Pour cela nous avons immergé la diode dans de l'eau dont la température était proche de 0 °C pour ensuite régler le premier potentiomètre pour qu'il ait une tension de 0 V (ainsi à $\theta = 0$ nous avons $U_p = 0$). Nous avons ensuite plongé la diode dans de l'eau chaude environnant les 55 °C pour pouvoir régler la valeur du second potentiomètre pour qu'il ait une tension de 2,75 V. Le circuit étant ainsi réglé, nous avons ensuite cherché à étalonner notre thermomètre. Pour y parvenir, nous faisons baisser la température de l'eau en y ajoutant de l'eau glacée et nous mesurons la tension aux bornes de la sortie E3 de notre circuit pour que chaque température obtenue corresponde à une tension. C'est grâce à ces valeurs que nous avons pu obtenir notre courbe.

Ci-dessous figure la courbe faite sous Synchronie, avec le modèle de la tension de sortie E3 en fonction de la température en Celsius, θ . Nous en déduisons la pente, $a = 0,05033$ et la valeur de $b = -0,0067$ V qui s'approche de 0. Cette imprécision est dû aux de précision dans les mesures et les calculs.



3.2. La consigne

3.2.1. Définition et réalisation

Dans le cadre de la régulation d'un système dynamique, la consigne désigne la valeur souhaitée pour la variable à régler. Ici, la consigne correspond à la valeur de la température désirée par l'utilisateur du régulateur.

Comme énoncé en introduction cette valeur consigne, convertie en tension, est comparée en permanence avec la tension mesurée par le capteur. Ainsi, il nous a fallu concevoir un montage qui puisse permettre la conversion de la température désirée en une tension.

Pour ce faire nous avons réalisé le montage suivant constitué de deux alimentations +15V et -15 V, de deux résistances fixes et d'une résistance variable. Le tout constitue en un pont diviseur de tension, dont la tension U_C en sortie est fonction de la valeur de la résistance variable. Ainsi, en choisissant la valeur de R_V , on fixe la valeur de la tension consigne U_C correspondant, à un coefficient près, à la température recherchée par l'utilisateur.

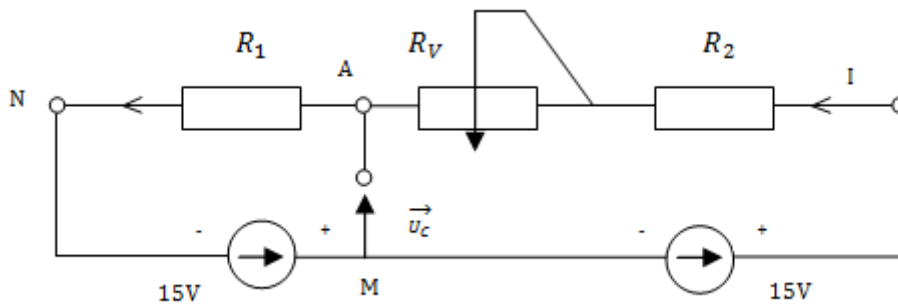


Figure 3 : Schéma de principe de la consigne

3.2.2. Fonctionnement d'une résistance variable en rhéostat :

Une résistance variable est constituée de trois bornes dont deux d'entre elles sont liées à une piste résistive sur laquelle se déplace un curseur auquel est reliée la 3^{ème} borne. Comme indiqué sur le schéma ci-après, le courant passe de façon partielle sur la piste résistive, modifiant ainsi la valeur de la tension entre la borne reliée au curseur et la borne fixe supérieure. En conséquence, on observe donc une modification de la valeur de la résistance de la piste. Autrement dit, la variabilité de la valeur de résistance dépend de la distance entre la borne fixe supérieure et le curseur. On définit la position du curseur grâce à un paramètre α variant de 0 à 1, où 0 correspond à une traversée nulle de la piste, et 1 une traversée totale. De fait, si le curseur est positionné en $\alpha = 0$ la valeur de la résistance variable sera nulle, tandis que si $\alpha = 1$ la résistance variable prendra sa valeur maximale $R_{max} = \frac{U_{max}}{i}$.

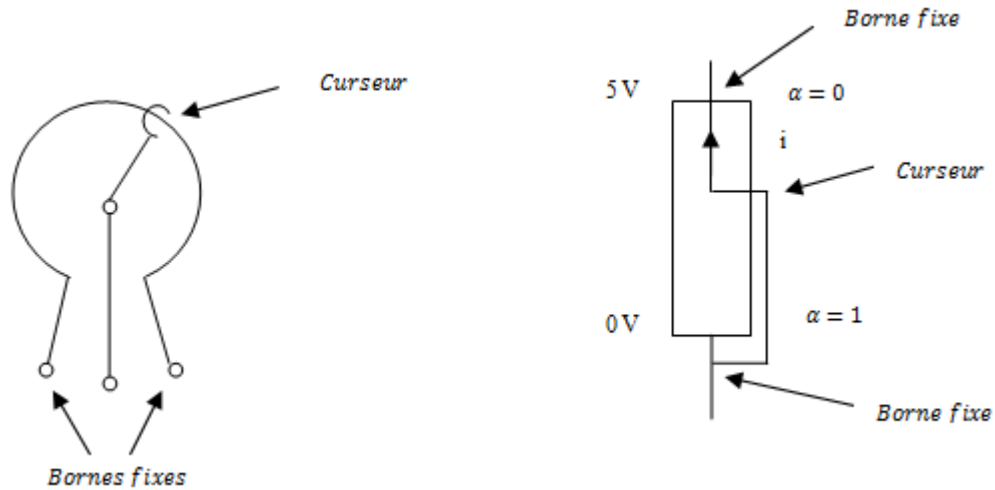


Figure 4 : Schémas architectural et de fonctionnement

Remarque : le choix particulier du montage en résistance variable s’explique par le fait que nous avons préféré favoriser une faible oxydation de la piste résistive due aux nombreux passages du courant sur cette dernière.

3.2.3. Calcul de la valeur des résistances R_7 et R_8

Données :

- On a choisi d’utiliser une résistance variable pouvant prendre des valeurs de 0 à 10K Ω .
- Le rapport tension/ température est tel que : 100°C \Leftrightarrow 5V.

Etant donné que l’on souhaite réguler la température entre 40°C et 80°C, la tension consigne U_C doit varier entre 2V et 4V. Il nous faut donc déterminer les valeurs de R_7 et R_8 tels que la tension U_C soit comprise dans l’intervalle précédemment explicité.

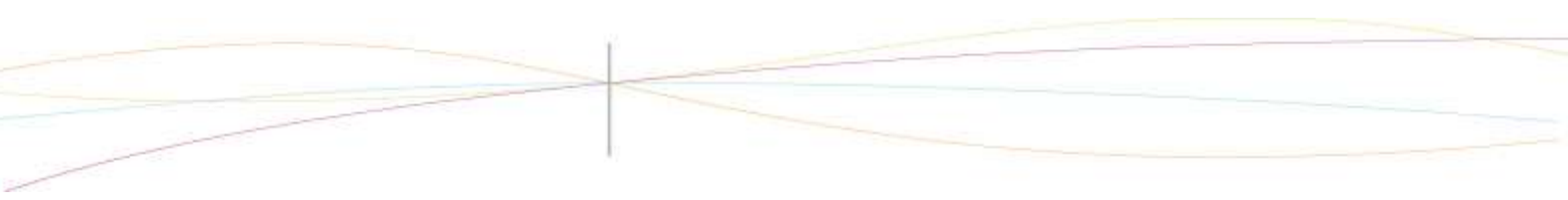
Mathématiquement, la détermination de R_7 et R_8 , se fait par la résolution d’un système linéaire de 2 équations à 2 inconnus, obtenu en considérant 2 configurations particulières du montage. Dans un premier temps, on s’intéressera à la configuration $R_V = 0 \Omega$ (résistance variable minimale) et à la configuration $R_V = 10 K\Omega$ (résistance variable maximale).

Du schéma Figure 3 : Schéma de principe de la consigne on en déduit que :

$$I = \frac{U_{PN}}{(R_7 + R_8 + R_V)} = \frac{(U_P - U_N)}{(R_7 + R_8 + R_V)} = \frac{(15 - (-15))}{(R_7 + R_8 + R_V)} = \frac{30}{(R_7 + R_8 + R_V)}$$

$$U_C = U_{AM} = U_{AN} + U_{NM}$$

Avec $U_{AN} = I \cdot R_7$ et $U_{NM} = -15V$



➤ Dans la configuration $R_V = 0 \Omega$ on a la tension consigne maximale soit : $U_C = 4V$

$$\text{On obtient : } U_C = \frac{30R_7}{(R_7+R_8+R_V)} - 15 \Rightarrow 4 = \frac{30R_7}{(R_7+R_8)} - 15$$

➤ Dans la configuration $R_V = 10 \text{ K}\Omega$ on a la tension consigne minimale soit :
 $U_C = 2V$

$$\text{On obtient : } U_C = \frac{30R_7}{(R_7+R_8+R_V)} - 15 \Rightarrow 2 = \frac{30R_7}{(R_7+R_8+10.10^3)} - 15$$

$$\text{Soit le système suivant : } (S) \begin{cases} 4 = \frac{30R_7}{(R_7+R_8)} - 15 & (1) \\ 2 = \frac{30R_7}{(R_7+R_8+10.10^3)} - 15 & (2) \end{cases}$$

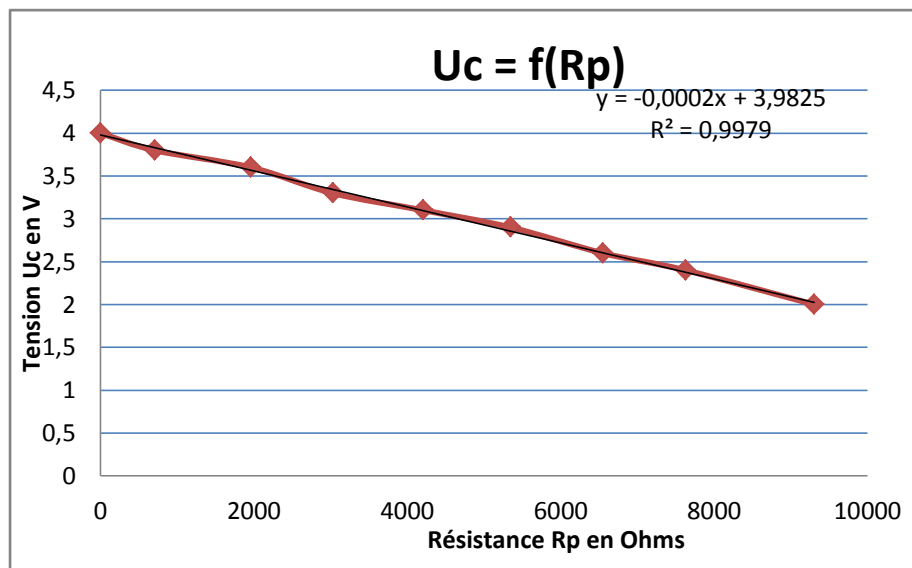
$$\text{Après substitution de } R_7 = \frac{19}{11}R_8 \text{ dans (2) : } (S) \Leftrightarrow \begin{cases} R_7 = \frac{19}{11}R_8 & (1') \\ 17\left(\frac{19}{11}R_8 + R_8 + 10.10^3\right) = \frac{570}{11}R_8 & (2') \end{cases}$$

D'où après simplification :

$$R_8 = \frac{93500}{3} \Omega \approx 31167 \Omega \text{ et : } R_7 = \frac{161500}{3} \Omega \approx 53833 \Omega$$

3.2.4. Résultats expérimentaux :

Afin de s'assurer de la véracité de nos calculs, nous avons observé l'évolution de la tension U_C en fonction de la résistance R_P variant de 0 à 10 Kohms. Ci-dessous le graphique représentant $U_C = f(R_P)$.



L'acquisition corrobore les résultats théoriques précédemment établis. En effet on constate une évolution linéaire de la tension entre 2V et 4V, ce qui correspond tout à fait à nos exigences. Ainsi, en modifiant la résistance on obtient bien une évolution de la tension consigne significative d'une variation de la température consigne entre 40°C et 80°C.

3.3. Le comparateur à hystérésis inverseur

3.3.1. Rôle du comparateur/régulateur

Le comparateur ou régulateur désigne au sens le plus général du terme l'organe « intelligent » ou le cerveau de la boucle de régulation.

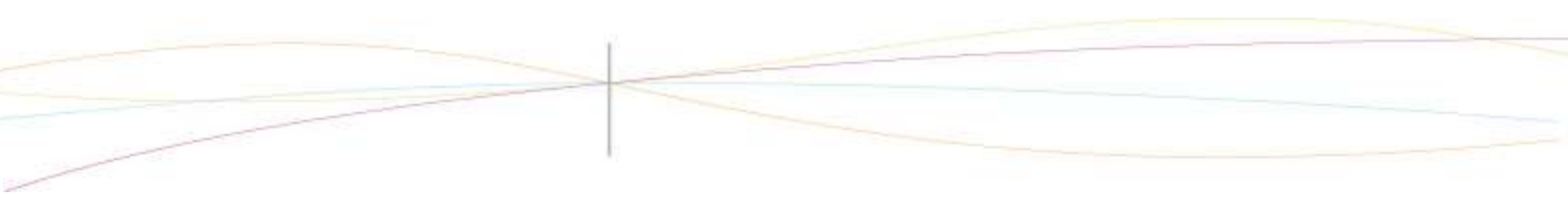
Dans notre cas, le but étant la régulation de la température, le comparateur a pour fonction le contrôle de l'organe de commutation (relais statique) de l'élément chauffant. Autrement dit, lorsque la température du bain est inférieure à la consigne le comparateur doit assurer le déclenchement du processus de chauffage. Tandis que lorsque la température est supérieure au besoin exprimé, le comparateur doit commuter le relais statique afin d'arrêter le chauffage.

Ainsi, dans le cadre de notre projet « régulation de température tout ou rien », nous avons choisi d'utiliser un régulateur TOR avec hystérésis. Ce régulateur comme le régulateur TOR simple élabore une fonction de commande discontinue ne prenant que 2 valeurs possibles 0 ou 1. C'est-à-dire qu'il enclenche soit la puissance maximale de chauffe soit la puissance nulle.

C'est d'ailleurs cette caractéristique qui donne son nom au régulateur « tout ou rien », puisque la grandeur réglée varie de façon non progressive d'une grandeur à l'autre.

La différence entre les 2 régulateurs réside dans la détermination des seuils de basculement d'un régime de fonctionnement à l'autre. Pour le régulateur TOR à hystérésis on définit la consigne et l'écart entre ses deux seuils appelé l'hystérésis. Logiquement, plus l'hystérésis est faible, plus la précision de notre système de régulation est grande, puisque la température varie dans un intervalle de faible amplitude. Pour le régulateur TOR simple, on précise uniquement la valeur de la température désirée. Dès lors que la température devient inférieure à la consigne la chauffe est réenclenchée.

Ainsi, on peut déduire de ces considérations que le régulateur TOR avec hystérésis est plus adapté à nos besoins. Effectivement, le fait que la température oscille dans un intervalle plus grand implique une augmentation de la stabilité et par la même occasion une limitation du phénomène de pompage (réduction du nombre de commutation). De plus, étant donné que notre système a une forte inertie thermique, il se prête parfaitement à ce type de régulation. Il convient tout de même de souligner que dans le cas d'un système avec hystérésis (phénomène de retard de l'effet sur la cause), la précision de la régulation est plus faible.



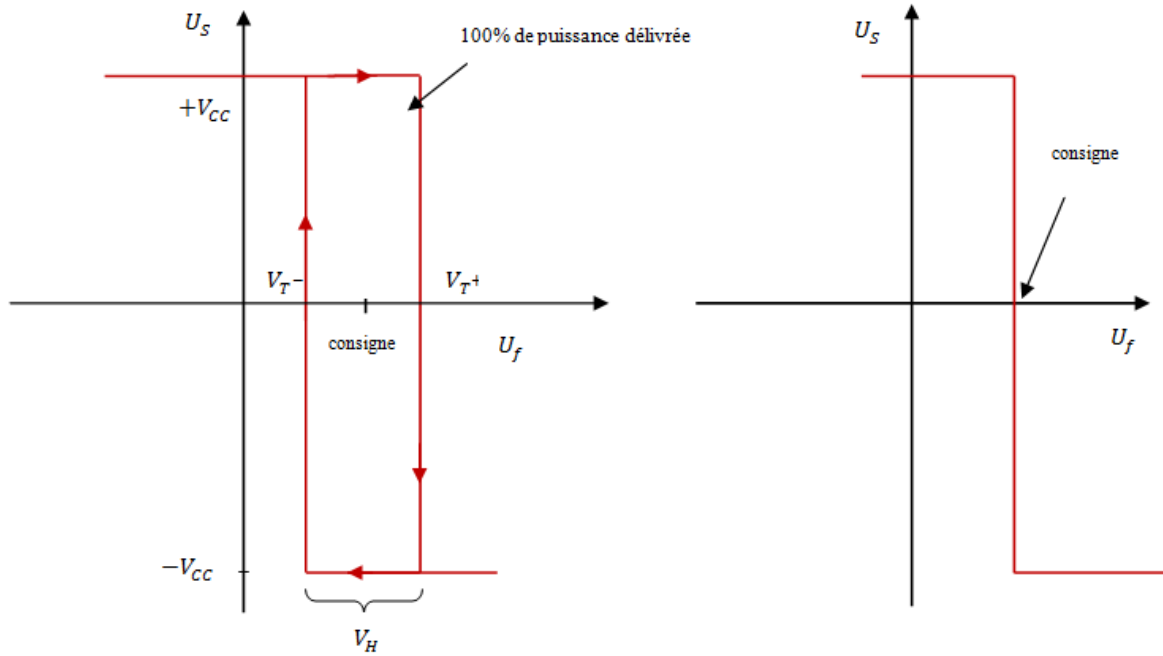


Figure 5 : Schéma de principe des cycles de régulations TOR avec et sans hystérésis

3.3.2. Notre réalisation

Pratiquement, le comparateur à hystérésis que nous avons réalisé utilise un montage de base de l'amplificateur opérationnel communément appelé : « comparateur à deux seuils ou Trigger de Schmitt » inverseur. Ci-dessous le schéma du montage du comparateur.

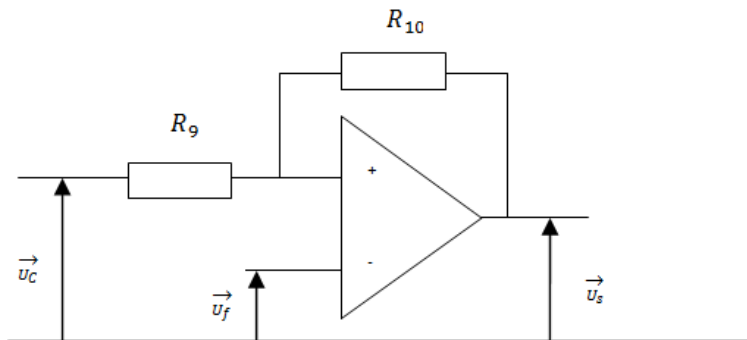
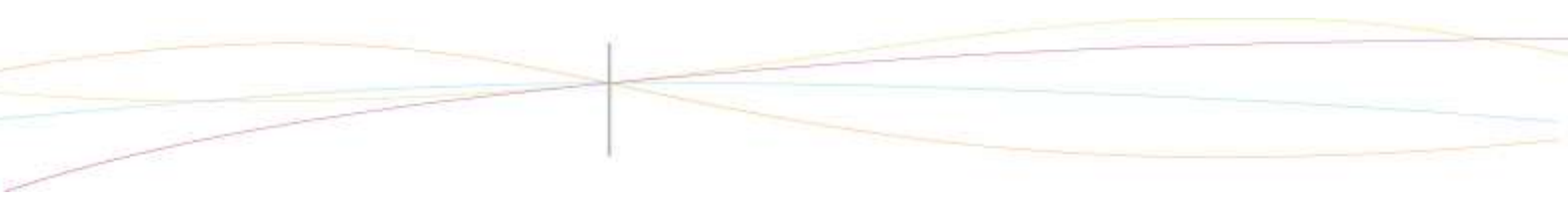


Figure 6: Montage du comparateur

Remarque : Nous avons préféré utilisé un comparateur à hystérésis inverseur à la place d'un comparateur à hystérésis simple car le premier montage ne nécessite pas l'ajout d'un montage inverseur en aval.

3.3.3. Calcul des résistances R_9 et R_{10} :

On a choisi une précision de notre régulateur de 0.5°C , autrement dit, la température de notre bain d'eau chaude oscille de façon permanente autour de la valeur consigne avec un écart (hystérésis) de plus ou moins 0.5°C .



Etant donné que le facteur multiplicatif entre la température et la tension est défini tel que : $100^{\circ}\text{C} \Leftrightarrow 5\text{V}$, la différence entre la tension consigne U_C et la tension mesurée U_f ne doit pas excéder 0.025V .

On veut donc V_H la largeur de la fenêtre du cycle égale à 0.05V .

Or on a $V_H = V_{T+} - V_{T-}$

Où V_{T+} est la tension de basculement positif faisant passer la tension en sortie U_S de $+V_{CC}$ (tension de saturation positive de l'AOP) à $-V_{CC}$ (tension de saturation négative de l'AOP) et V_{T-} est la tension de basculement négatif faisant passer U_S de $-V_{CC}$ à $+V_{CC}$.

Déterminons V_{T+} et V_{T-} :

Dans un premier temps, il convient de préciser qu'étant donné l'absence de contre-réaction sur l'entrée inverseuse, ce montage fonctionne en régime non linéaire ou saturé. Ainsi, on a :

$$V_+ \neq V_- \text{ et } V_S = \begin{cases} +V_{CC} & \text{si } V_+ < V_- \\ -V_{CC} & \text{si } V_+ > V_- \end{cases}$$

Néanmoins, le passage d'un état saturé à un autre se fait toujours par un passage en régime linéaire. De fait, l'utilisation des caractéristiques d'un amplificateur opérationnel en mode linéaire est correcte.

Par application du théorème de Millman on a :
$$V_+ = \frac{\left(\frac{U_C}{R_9} + \frac{U_S}{R_{10}}\right)}{\left(\frac{1}{R_9} + \frac{1}{R_{10}}\right)} = \frac{U_C R_{10}}{R_9 + R_{10}} + \frac{U_S R_9}{R_9 + R_{10}}$$

On a en outre, $V_- = U_f$

Soit la tension différentielle :
$$V_{diff} = V_+ - V_- = \frac{U_C R_{10}}{R_9 + R_{10}} + \frac{U_S R_9}{R_9 + R_{10}} - U_f$$

D'après l'hypothèse de fonctionnement en régime linéaire lors du passage d'un état saturé à un autre on a :

$$V_{diff} = 0 \Rightarrow V_+ = V_- \Rightarrow \frac{U_C R_{10}}{R_9 + R_{10}} + \frac{U_S R_9}{R_9 + R_{10}} = U_f$$

Suivant le signe de U_S on peut donc définir la tension de basculement positif V_{T+} et la tension de basculement négatif V_{T-} tel que :

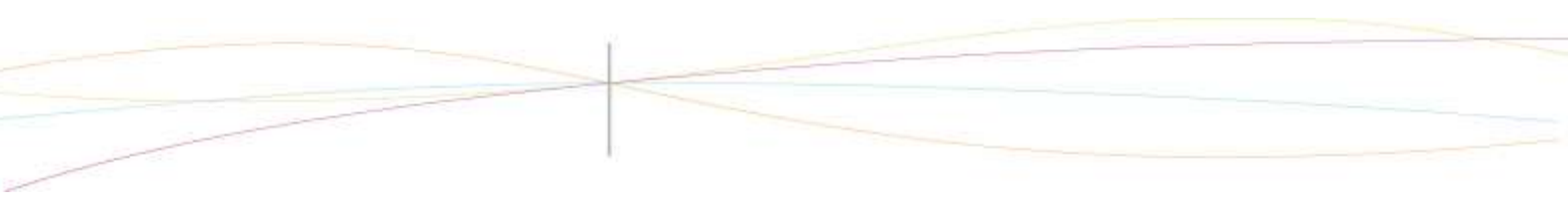
$$V_{T+} = U_f \text{ pour } U_S = +V_{CC} \quad \left\{ \begin{array}{l} V_{T-} = U_f \text{ pour } U_S = -V_{CC} \end{array} \right.$$

$$\text{D'où } V_{T+} = U_{f+} = \frac{U_C R_{10}}{R_9 + R_{10}} + \frac{(+V_{CC})R_9}{R_9 + R_{10}} \quad \text{et} \quad V_{T-} = U_{f-} = \frac{U_C R_{10}}{R_9 + R_{10}} + \frac{(-V_{CC})R_9}{R_9 + R_{10}}$$

$$\text{Ainsi : } V_H = V_+ - V_- = \frac{U_C R_{10}}{R_9 + R_{10}} + \frac{(+V_{CC})R_9}{R_9 + R_{10}} - \frac{U_C R_{10}}{R_9 + R_{10}} - \frac{(-V_{CC})R_9}{R_9 + R_{10}}$$

$$V_H = \frac{(+V_{CC})R_9}{R_9 + R_{10}} - \frac{(-V_{CC})R_9}{R_9 + R_{10}}$$

$$V_H = \frac{30R_9}{R_9 + R_{10}}$$

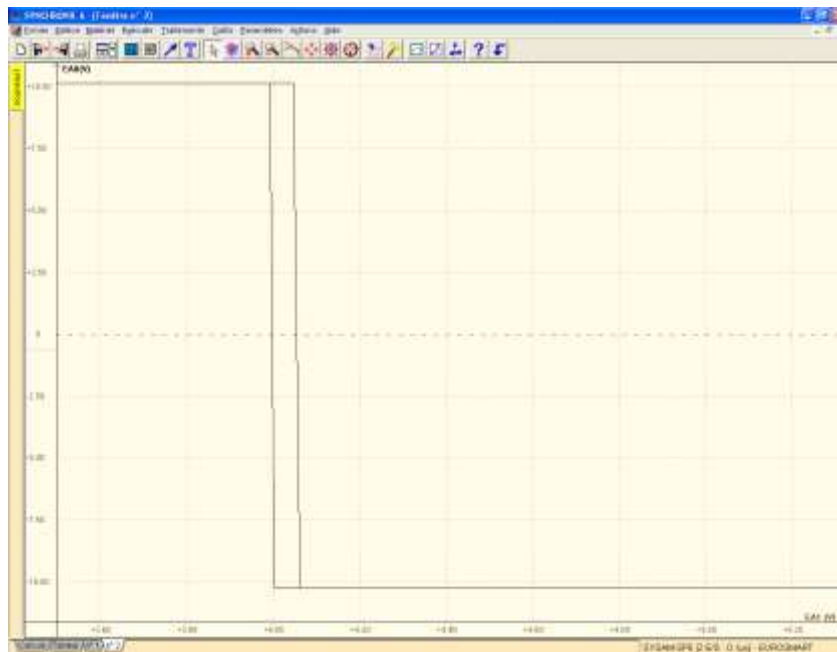


Etant donné que $V_H = 0.05V \Leftrightarrow 0.05 = \frac{30R_9}{R_9+R_{10}}$

En fixant $R_9 = 1K\Omega$ on a $R_{10} = 599K\Omega$

3.3.4. Résultats expérimentaux

La confrontation des résultats théoriques et expérimentaux est satisfaisante, puisque pour des valeurs de résistances $R_9 = 1K\Omega$ et $R_{10} = 599K\Omega$, on obtient bien $V_H \approx 0.05V$. Ci-dessous l'acquisition faite sous Synchronie, avec en abscisse la tension U_f en sortie du capteur de température et en ordonnée la tension U_S en sortie de du comparateur.

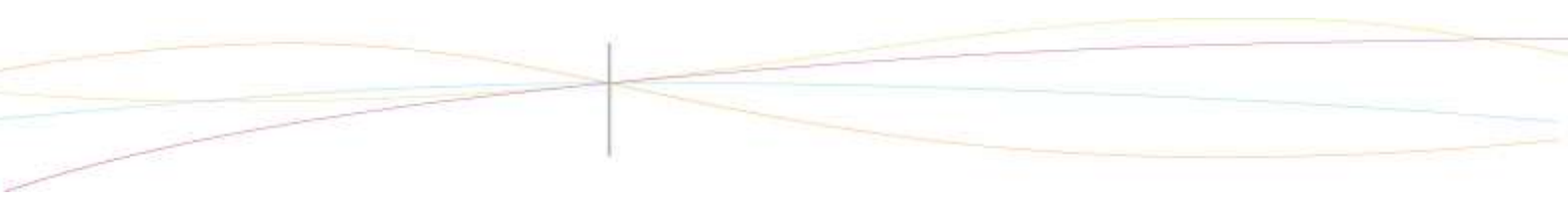


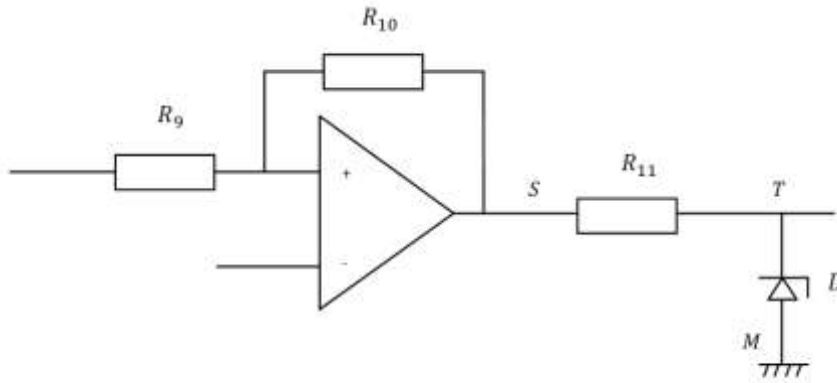
Remarque : Les acquisitions ont été réalisées à très basse fréquence, et le temps d'acquisition choisi est très faible ce qui explique la visualisation d'un unique passage sur le cycle.

De plus, on explique la présence d'une pente sur la caractéristique de transfert par l'existence d'une vitesse limite de balayage (ou slew rate) de l'amplificateur opérationnel. Cette dernière représente la variation maximale de tension par unité de temps que peut produire un amplificateur (égale dans notre cas à $8V/\mu s$). Ainsi, la tension de sortie des amplificateurs ne peut pas varier d'une valeur à une autre de façon instantanée. On notera, que le coefficient directeur de la droite est très proche de la valeur du slew rate.

3.3.5. La diode Zener

Comme expliqué ci-avant, la tension en sortie du montage comparateur prend deux valeurs, soit elle est égale à $+V_{cc}$ c'est-à-dire $+15V$ soit elle est égale à $-V_{cc}$ c'est-à-dire $-15V$. Or l'organe de commutation du chauffage, le relais statique, ne fonctionne qu'avec une tension d'entrée de $5V$. Afin d'obtenir une tension d'alimentation de l'organe de commande conforme, nous avons donc choisi l'implantation d'une diode Zener de $4,7V$, comme spécifié sur le schéma ci-dessous.





Cette dernière permet donc la conversion de la tension U_S en une tension ne prenant que 2 valeurs 0 ou 5V. C'est à dire que les $-15V$ seront convertit en 0V par la diode Zener tandis que les $+15V$ seront eux convertit en 5V. Les calculs suivants expliquent ce phénomène.

Les caractéristiques de la diode Zener nous permettent d'obtenir les relations suivantes :

$$\begin{cases} \text{Si } V_M > V_S \Rightarrow V_M = V_T \\ \text{Si } V_S - V_M < 5 \Rightarrow i = 0 \\ \text{Si } V_S - V_M < 5 \Rightarrow V_T - V_M = 5 \end{cases}$$

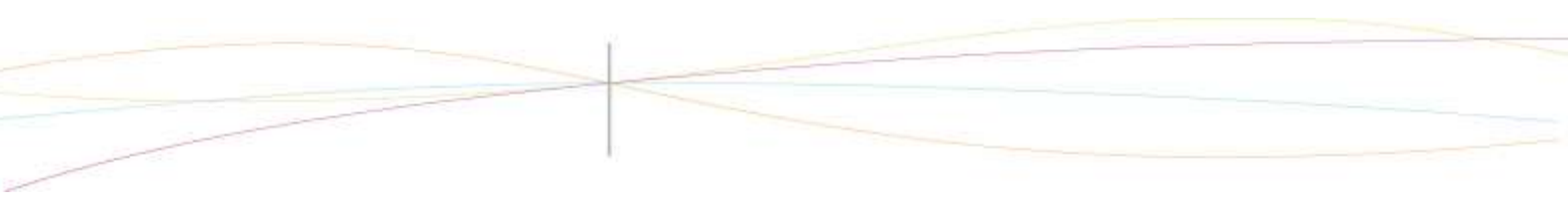
Sachant que : $V_M = 0$, $V_S = U_S$ et $V_T = U_T$ on obtient :

$$V_T = \begin{cases} 0V \text{ si } U_S = -15V \\ 5V \text{ si } U_S = +15V \end{cases}$$

3.4. Le relais statique

3.4.1. Définition

Le relais qu'il soit statique, mécanique ou encore électromécanique, est un organe permettant la commutation entre deux liaisons électriques et dans une moindre mesure l'isolation galvanique entre les 2 parties. Autrement dit même si les deux liaisons électriques sont voisines le courant ne se transmet pas de façon directe mais de façon indirecte (par exemple liaison lumineuse ou une liaison électromagnétique). Son rôle est de transmettre un ordre de la partie commande à la partie puissance d'un appareil électrique. Ici, le rôle du relais statique est d'assurer la commutation de l'organe de chauffage en fonction de la différence entre la température consigne et la température mesurée par le capteur. Concrètement, lorsque la température du bain d'eau chaude est supérieure à celle de la consigne, le relais ne doit pas alimenter l'organe de chauffage. Tandis que lorsque la température régulée est inférieure à la valeur consigne, le relais doit assurer l'enclenchement du chauffage du bain.



Dans le cadre de notre manipulation, nous utilisons un relais dit « statique ». Le relais statique est un interrupteur sans contact, composé de circuits microélectroniques, dispositifs électroniques de puissance discrets.

3.4.2. Avantages et inconvénients

Avantages :

Sa durée de vie s'élève à plus de 125 000 heures quel que soit le nombre de commutations, car il n'y a pas d'usure mécanique. En parallèle la durée de vie d'un relais mécanique dépend du nombre de commutation. Le relais statique est donc plus adapté à une régulation de température qui implique des commutations fréquentes.

Le courant de commande est plus faible que les relais électromagnétique, surtout pour les relais de forte puissance. Le relais statique ne nécessite donc pas de forte intensité.

Son fonctionnement est pratiquement silencieux. Ce qui apporte un avantage considérable pour l'utilisation dans des environnements type hôpitaux. Il est aussi plus adapté pour les milieux explosifs, due à l'absence d'arcs électriques.

Inconvénients :

Dans le domaine des hautes fréquences, le relais statique ne peut que très rarement être utilisé. Cela est dû à sa capacité de sortie plus élevée.

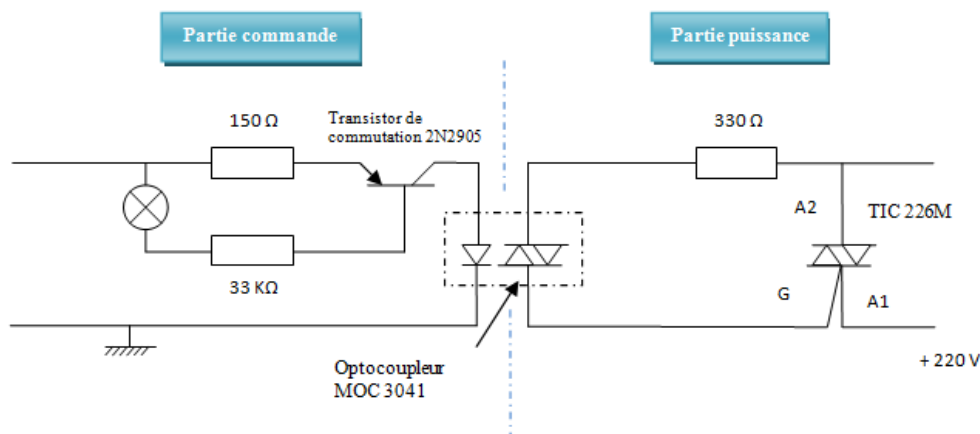
Quand il s'agit de commuter des courants de plusieurs ampères, on peut observer un échauffement excessif du relais, ce qui peut imposer une ventilation forcée.

Le cout de fabrication est plus élevé si l'on veut inclure des contacts multiples.

Une déconnexion physique n'est pas toujours possible avec un relais statique ce qui implique qu'il ne peut pas être utilisé dans les cas de certaine manipulation pour des raisons de sécurité.

3.4.3. Notre réalisation

Le montage que nous avons utilisé est composé de 3 résistances, un transistor de commutation, une DEL, un optocoupleur et un triac. Le tout réalise une fonction d'interfaçage entre le circuit de puissance et le circuit de commande. Ci-dessous le schéma du montage du relais statique.



Descriptif des composants électriques principaux du relais statique :

L'optocoupleur ou photocoupleur est un composant électronique permettant la transmission d'un signal de la partie commande à la partie puissance, toutes deux isolées l'une de l'autre d'un point de vue électrique. Une telle isolation est essentielle dans notre situation, car elle évite de rendre la masse commune à la partie commande basse tension et à la partie commandée sous 230V. Comme évoqué précédemment, la transmission d'information ne se fait pas de manière directe, ici elle se fait par l'intermédiaire d'un signal lumineux. Lorsque la diode électroluminescente est soumise à une polarisation directe, elle émet un signal lumineux qui est reçu par un récepteur sensible à la lumière. Ainsi, lorsque ce dernier est activé par la lumière il génère une tension transmise à la partie puissance.

Le triac communément appelé thyristor bidirectionnel est composé de 2 électrodes principales A1 et A2 et d'une gâchette G permettant l'enclenchement du triac. Ainsi, une fois enclenché par une impulsion sur la gâchette le Triac devient passant jusqu'au moment où le courant devient inférieur au courant de maintien (holding current égal à 5mA dans notre cas). Il en résulte qu'une fois le triac enclenché, le courant qui le traverse est indépendant du signal appliqué sur la gâchette.

Fonctionnement du relais statique :

En entrée de la partie commande, le relais statique reçoit la tension U_T en sortie de la diode Zener. Comme expliqué ci-avant, cette tension prend deux valeurs, ainsi deux cas peuvent se présenter.

➤ Cas n°1 : $U_T = 0V$

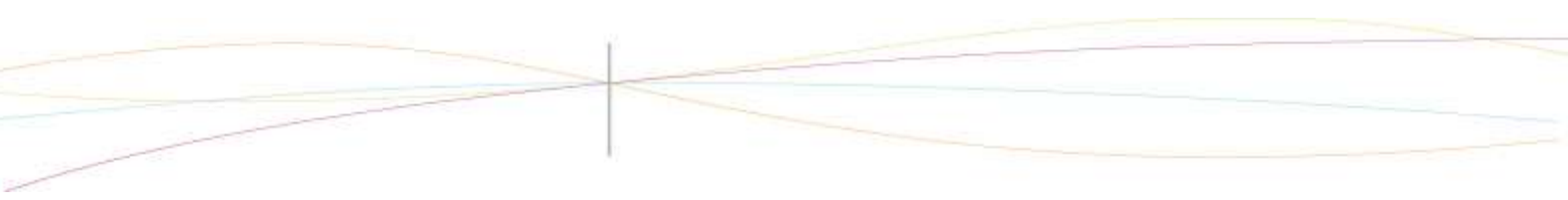
Si $U_T = 0V$, d'après les raisonnements établis précédemment cela implique que la tension en sortie du comparateur est négative, autrement dit que la tension $U_f > U_C$ ou plus simplement que la température mesurée est supérieure à la température consigne, le relais statique doit donc interrompre l'alimentation du chauffage.

On comprend assez aisément, que si la tension U_T en entrée du relais statique est nulle, aucun signal ne passe dans la partie commande, qui ne transmet donc aucun ordre à la partie puissance. Ainsi, le triac n'étant pas passant, l'organe de chauffage est éteint.

➤ Cas n°2 $U_T = 5V$

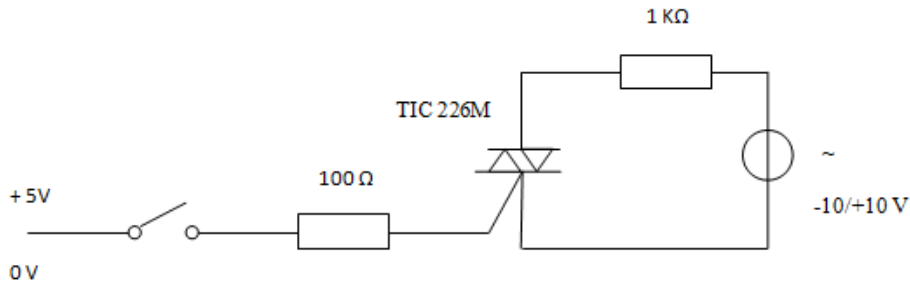
Si $U_T = 5V$, d'après les raisonnements établis précédemment cela implique que la tension en sortie du comparateur est positive, autrement dit que la tension $U_f < U_C$ ou plus simplement que la température mesurée est inférieure à la température consigne, le relais statique doit donc assurer la mise en marche du chauffage.

Dans ce cas, le signal électrique émis par le comparateur est transmis depuis la partie commande jusqu'à la partie puissance par l'intermédiaire de l'optocoupleur selon les modalités évoquées ci-avant. Au niveau de la partie puissance la gâchette est activée, le triac laisse donc passer le courant et permet l'alimentation de l'organe chauffant. Enfin, l'eau chauffe puis sa température augmente jusqu'à atteindre $U_C + \text{hystérésis}$, et un nouveau cycle commence.



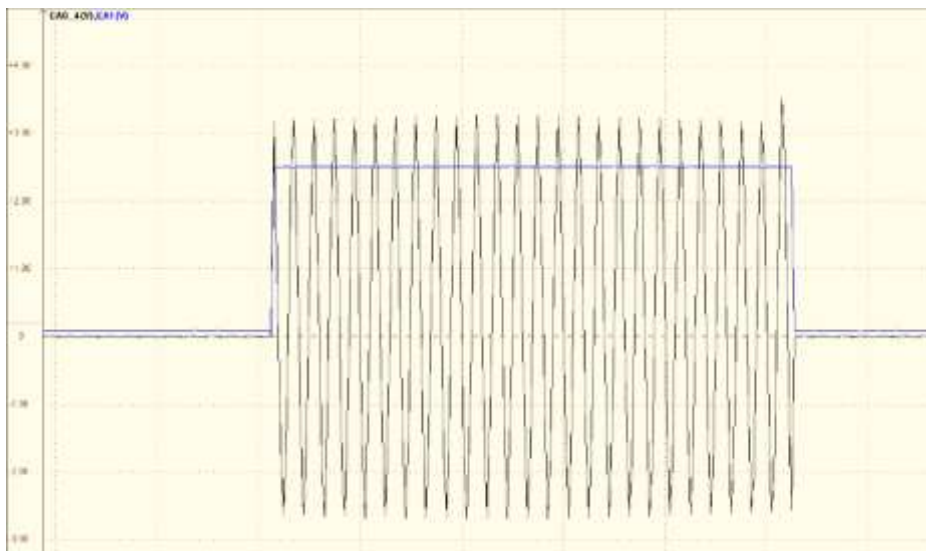
3.4.4. Le triac

Le triac étant l'un des éléments essentiels du relais statique nous nous sommes beaucoup intéressés à comprendre son fonctionnement. Pour ce faire nous avons tout d'abord considéré une configuration simple illustrée par le schéma électrique suivant.



Dans un premier temps, nous avons observé les caractéristiques du triac de façon très visuelle en montant une DEL en série de la résistance de $1\text{K}\Omega$. Ainsi, on a pu constater très simplement que lorsque l'interrupteur est fermé la DEL est allumée, tandis qu'elle s'éteint lorsque l'interrupteur est ouvert.

Ensuite, nous avons réalisé une acquisition de la tension aux bornes de la résistance de $1\text{K}\Omega$ et de la tension en entrée du circuit en fonction du temps.

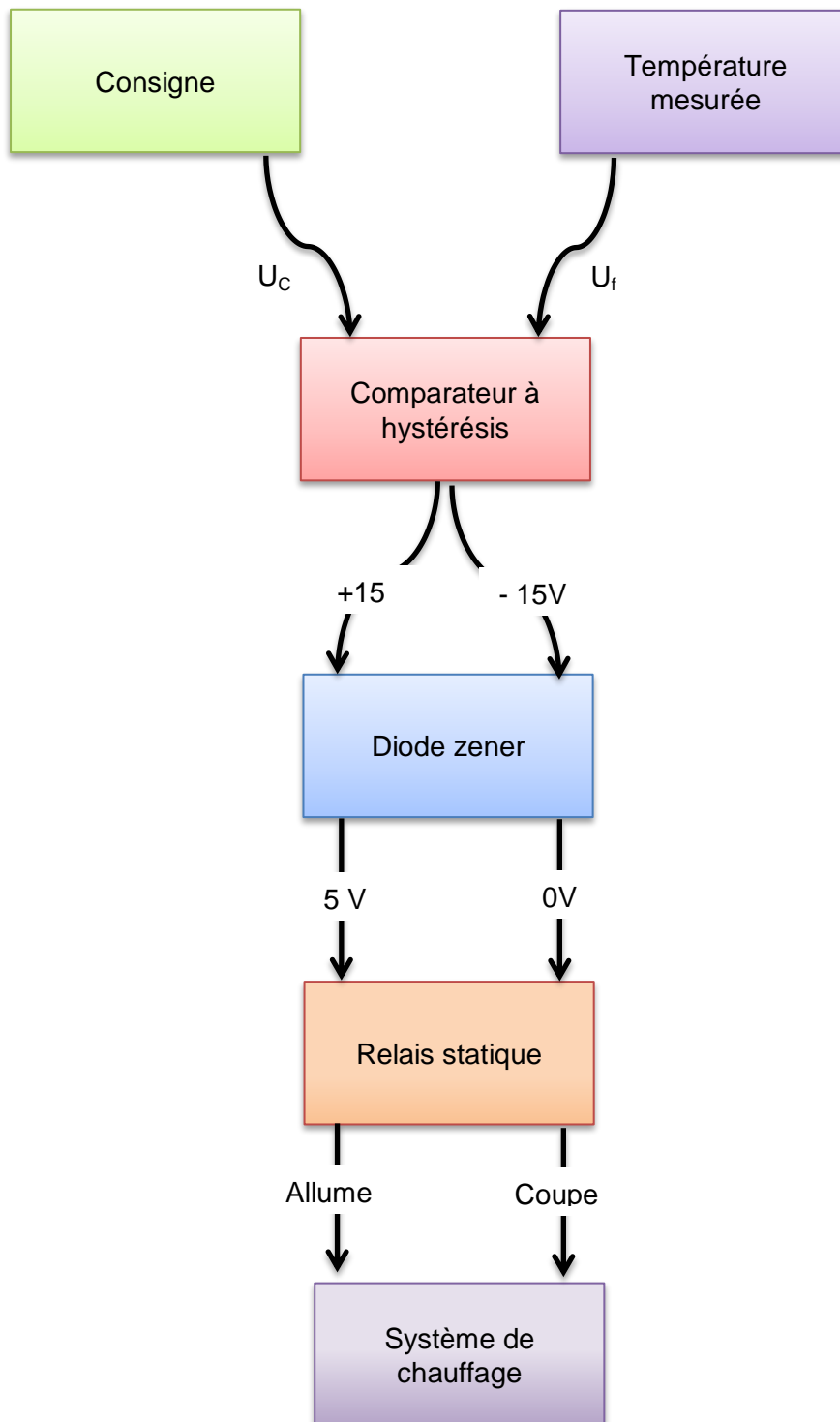


Remarque : la courbe bleue correspond à la tension en entrée et la courbe noire correspond à la tension aux bornes de la résistance de $1\text{K}\Omega$.

L'acquisition est en adéquation avec les résultats théoriques. Lorsque la tension en entrée est nulle la différence de courant entre les électrodes A1 et A2 est nulle, le triac est donc non passant d'où une tension nulle aux bornes de la résistance de $1\text{K}\Omega$. En revanche, lorsque la tension en entrée est de 5V, le courant entre les bornes A1 et A2 est supérieure au courant de maintien, et le triac est passant. D'où l'observation d'une tension non nulle aux bornes de la résistance de $1\text{K}\Omega$.

Nous avons constaté expérimentalement, qu'en remplaçant l'alimentation $+10/-10\text{V}$ par une alimentation en courant continu, une simple ouverture de l'interrupteur n'entraîne pas une annulation de la tension aux bornes de la résistance de $1\text{K}\Omega$. Ce phénomène est normal pour que le triac se désamorce il est nécessaire de couper l'alimentation et le courant qui circule entre les bornes A1 et A2.

3.5. Schéma général



4. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

4.1. Conclusions sur le travail réalisé

Après un semestre de travail hebdomadaire sur ce projet, avons-nous atteint nos objectifs ?

Les études théoriques du thermomètre, du comparateur, et du relais ont été menées à bien et vérifiées, et la réalisation du thermomètre est achevée et fonctionnelle. Et même s'il reste toujours des moyens d'aller plus loin dans la poursuite du projet, ce dossier relate la chronique d'un travail mûr constituant déjà une fin en soi.

Maintenant qu'il est l'heure du bilan, évoquons les enseignements tirés par l'ensemble du groupe. Ce fut pour tous le moyen d'apprendre et de revoir ses connaissances théoriques de l'électricité, mais surtout d'établir un contact plus prolongé avec l'exercice particulier qu'est le projet. Ni TP, ni TD, il nous a forcés à sortir de nos habitudes. Bien qu'encadrés, traduire soi-même l'objectif du projet en normes à respecter, faire ses études théoriques, trouver soi-même ses erreurs, vérifier et vérifier à nouveau le travail effectué avant de passer à l'étape supérieure, quitte à revenir en arrière, se confronter aux contraintes d'une réalisation pratique, trouver des solutions aux difficultés rencontrées, choisir une de ces solutions non préétablies, nous a permis de redéfinir la notion de ce qu'est le travail.

En ce qui concerne le travail en groupe, bien que nous ayons eu des difficultés avec les barrières des langues, les disponibilités de chacun, et la charge de travail à effectuer, nous avons pourfendu ces obstacles en répondant par une répartition efficace des tâches, ce qui nous a permis de fusionner nos forces vives et nos domaines de connaissance complémentaires en ce document que vous tenez dans vos mains et qui témoigne de notre réussite.

4.2. Conclusions sur l'apport personnel de cet E.C. projet

4.2.1. Aiwei

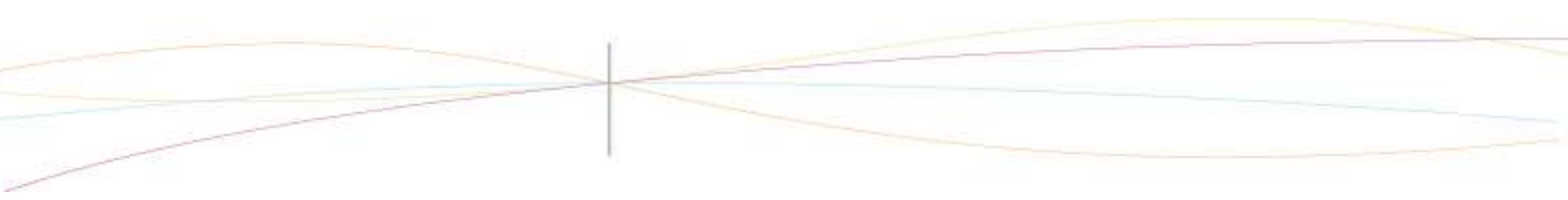
Je pense que notre projet est très pratique, car il a une large application dans la vie quotidienne. Grâce à ce projet, je connais la régulation de température et le fonctionnement du relais statique, du triac...C'est ma première collaboration avec des étudiants français sans autre chinois. Bien qu'il existe des obstacles à l'échange, j'essaie d'apporter ma contribution à notre projet. Donc j'ai eu l'occasion d'améliorer ma capacité à la collaboration, et il s'agit de jeter les bases pour l'étude après.

4.2.2. Bukhari

Ce projet m'a donné la possibilité d'approfondir mes connaissances en électricité. J'ai pu mettre en pratique ce que j'avais vu en P3 et en P6-1 pour construire un capteur de température électronique afin de comprendre une régulation de température « tout ou rien ». Avoir effectué ce projet en groupe a été une bonne expérience car cela nous a appris à mieux nous organiser afin de répartir les tâches et à communiquer entre nous.

4.2.3. Hélène

Au tout début, j'appréhendais le fait d'avoir à travailler un sujet sur lequel je n'étais pas très à l'aise malgré le fait d'avoir suivi des cours d'électricité durant ma première année à l'INSA et même au lycée. Finalement, ce projet m'a permis de comprendre certaines notions que je n'avais pas assimilés comme le fonctionnement d'une diode Zener par exemple. Je pense que le fait



d'avoir cherché comment faire un thermomètre électronique par nous-même et ensuite avoir à expliquer son fonctionnement était un moyen efficace pour mieux comprendre certains principes de l'électricité. Je suis donc satisfaite d'avoir participé à la réalisation de ce projet d'autant plus qu'il nous habitue à travailler en groupe ce qui est bénéfique pour tout élève désireux de devenir ingénieur.

4.2.4. Mélody

Pour ma part, la réalisation de ce projet fut très constructive et enrichissante. N'ayant pas eu l'opportunité de suivre les cours d'électronique dispensés à l'INSA de Rouen en 1^{ère} année, ce projet m'a permis de mieux appréhender certaines notions dans ce domaine. J'ai pu notamment, comprendre de façon beaucoup plus précise le fonctionnement d'un amplificateur opérationnel. Enfin, étant désireuse d'intégrer le département Energétique et Propulsion, ce projet a été pour l'occasion d'être au contact de l'électronique, domaine essentiel de la spécialité.

4.2.5. Nathalie

Tout d'abord ce projet m'a permis d'étudier un système de régulation que l'on peut utiliser tous les jours dans sa maison. De plus voulant intégrer le département mécanique ce projet pourra m'être utile pour mieux comprendre les cours d'électronique de l'an prochain. Ce fut une occasion de travailler en équipe constituée de français et d'étrangers avec tous les avantages et inconvénients qui vont avec. Il est en effet difficile d'expliquer à quelqu'un qui ne perçoit pas toutes les finesses de la langue quelque chose que l'on a du mal à comprendre soi-même.

4.2.6. Yuri

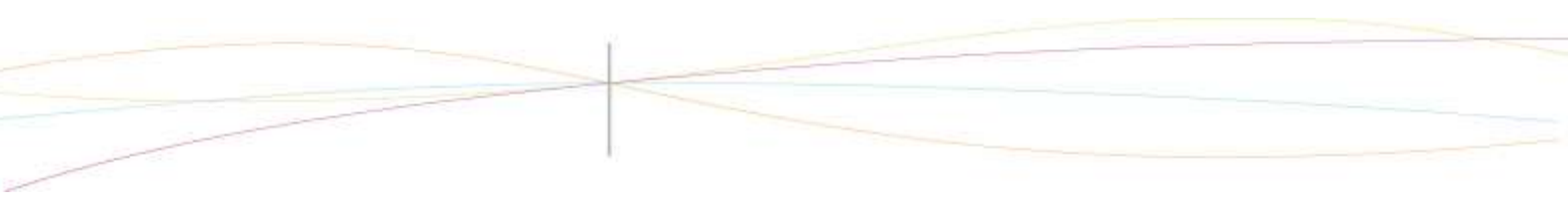
Tout d'abord, ce projet m'a fait naturellement revoir mes connaissances théoriques, nécessaires pour faire le travail demandé, en électricité par exemple. J'ai aussi beaucoup appris en ce qui concerne la réalisation manuelle, la conception et la réalisation de circuits imprimés.

Mais ce projet fut surtout l'occasion pour moi de me rapprocher, tout du moins, de la notion de projet. D'une part, rester sur un même sujet pendant assez de temps pour participer à ces différentes phases (comme : la traduction de l'objectif du projet en normes à respecter, sa préparation théorique, et enfin sa réalisation puis tests via expériences) a permis de démystifier considérablement la chose, et de voir l'impact concret de notre travail à la fin du projet.

Il apporta aussi une nouvelle expérience du travail de groupe, et mis l'accent plus que tout autre sur la nécessité de se répartir clairement les tâches, instaurer des outils de dialogues régulier entre les membres du groupe, mettre en place un planning et le respecter.

4.3. Perspectives pour la poursuite de ce projet

Tout d'abord il faut savoir que c'est la troisième année, voir peut être plus, que ce projet est réalisé. Nous avons essayé, en nous inspirant des précédents dossiers, de compléter les études qui n'avaient pas été faites, ou que très succinctement. Nous avons corrigé certain calcul, modifié le circuit en générale pour le simplifier à certains endroits. Bien sûr il est fort probable qu'il y est encore des choses à modifier et que ce que l'on a fait n'est pas parfait. Pour la suite il serait peut être intéressant de réaliser tout le système et donc ainsi de vérifier que l'ensemble marche bien. Car même si nous avons tester les composants séparément, on ne peut pas garantir que le tout marchera correctement.



5. BIBLIOGRAPHIE

❖ Sites Internet :

- Sonelec Musique, dernière mise à jour le 13/06/2011, création le 09/07/2004

http://www.sonelec-musique.com/electronique_theorie_relais.html

http://www.sonelec-musique.com/electronique_theorie_triac.html

http://www.sonelec-musique.com/electronique_theorie_optocoupleur.html

- Wikipedia

<http://fr.wikipedia.org/wiki/Triac>

http://fr.wikipedia.org/wiki/Choix_des_boucles_de_r%C3%A9gulation

http://fr.wikipedia.org/wiki/Relais_statique

<http://fr.wikipedia.org/wiki/Optocoupleur>

<http://fr.wikipedia.org/wiki/Thermocouple>

<http://fr.wikipedia.org/wiki/Thermistance>

http://fr.wikipedia.org/wiki/Diode_Zener

http://fr.wikipedia.org/wiki/Amplificateur_op%C3%A9rationnel

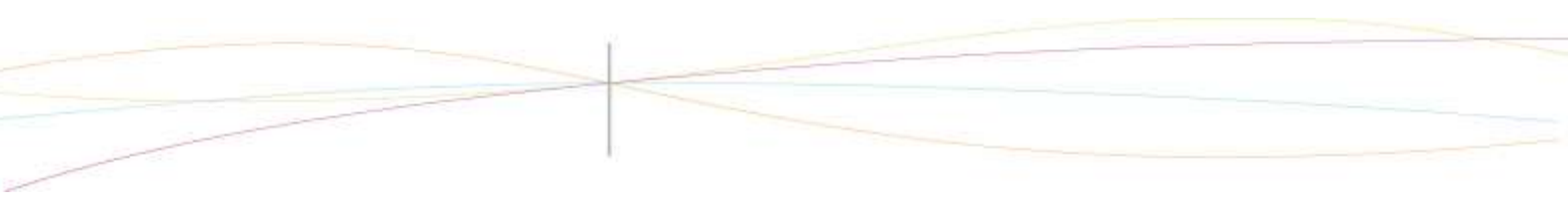
http://fr.wikipedia.org/wiki/Montages_de_base_de_l%27amplificateur_op%C3%A9rationnel

❖ Ouvrage :

- Aide-mémoire électronique. Bogdan Grabowski, Christian Ripoll et coll
Edition DUNOD, l'USINE NOUVELLE. Publié en 17/11/2008.

❖ Divers :

- Documents de cours du module d'électronique 1 de Mme S.ROBINET, année universitaire 2010/2011
- Documents de cours de l'EC de P3 de M. Y.MONTIER, année universitaire 2009/2010



6. ANNEXES

6.1. Documentation technique

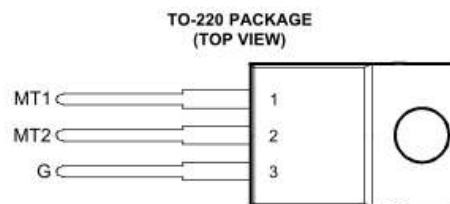
6.1.1. Documentation technique du triac (référence TIC226M)

TIC226 SERIES SILICON TRIACS

Copyright © 1997, Power Innovations Limited, UK

APRIL 1971 - REVISED MARCH 1997

- 8 A RMS, 70 A Peak
- Glass Passivated Wafer
- 400 V to 800 V Off-State Voltage
- Max I_{GT} of 50 mA (Quadrants 1 - 3)



Pin 2 is in electrical contact with the mounting base.

MDC2ACA

absolute maximum ratings over operating case temperature (unless otherwise noted)

| RATING | | SYMBOL | VALUE | UNIT |
|--|---------|--------------|-------------|------|
| Repetitive peak off-state voltage (see Note 1) | TIC226D | V_{DRM} | 400 | V |
| | TIC226M | | 600 | |
| | TIC226S | | 700 | |
| | TIC226N | | 800 | |
| Full-cycle RMS on-state current at (or below) 85°C case temperature (see Note 2) | | $I_{T(RMS)}$ | 8 | A |
| Peak on-state surge current full-sine-wave (see Note 3) | | I_{TSM} | 70 | A |
| Peak on-state surge current half-sine-wave (see Note 4) | | I_{TSM} | 80 | A |
| Peak gate current | | I_{GM} | ±1 | A |
| Peak gate power dissipation at (or below) 85°C case temperature (pulse width ≤ 200 μs) | | P_{GM} | 2.2 | W |
| Average gate power dissipation at (or below) 85°C case temperature (see Note 5) | | $P_{G(AV)}$ | 0.9 | W |
| Operating case temperature range | | T_C | -40 to +110 | °C |
| Storage temperature range | | T_{stg} | -40 to +125 | °C |
| Lead temperature 1.6 mm from case for 10 seconds | | T_L | 230 | °C |

- NOTES: 1. These values apply bidirectionally for any value of resistance between the gate and Main Terminal 1.
 2. This value applies for 50-Hz full-sine-wave operation with resistive load. Above 85°C derate linearly to 110°C case temperature at the rate of 320 mA/°C.
 3. This value applies for one 50-Hz full-sine-wave when the device is operating at (or below) the rated value of on-state current. Surge may be repeated after the device has returned to original thermal equilibrium. During the surge, gate control may be lost.
 4. This value applies for one 50-Hz half-sine-wave when the device is operating at (or below) the rated value of on-state current. Surge may be repeated after the device has returned to original thermal equilibrium. During the surge, gate control may be lost.
 5. This value applies for a maximum averaging time of 20 ms.

electrical characteristics at 25°C case temperature (unless otherwise noted)

| PARAMETER | TEST CONDITIONS | | | MIN | TYP | MAX | UNIT |
|---|-------------------------------------|--------------------|------------------------------|-----|------|-----|------|
| I_{DRM} Repetitive peak off-state current | $V_D = \text{rated } V_{DRM}$ | $I_G = 0$ | $T_C = 110^\circ\text{C}$ | | | ±2 | mA |
| I_{GTM} Peak gate trigger current | $V_{supply} = +12\text{ V}^\dagger$ | $R_L = 10\ \Omega$ | $t_{p(g)} > 20\ \mu\text{s}$ | | 2 | 50 | mA |
| | $V_{supply} = +12\text{ V}^\dagger$ | $R_L = 10\ \Omega$ | $t_{p(g)} > 20\ \mu\text{s}$ | | -12 | -50 | |
| | $V_{supply} = -12\text{ V}^\dagger$ | $R_L = 10\ \Omega$ | $t_{p(g)} > 20\ \mu\text{s}$ | | -9 | -50 | |
| | $V_{supply} = -12\text{ V}^\dagger$ | $R_L = 10\ \Omega$ | $t_{p(g)} > 20\ \mu\text{s}$ | | 20 | | |
| V_{GTM} Peak gate trigger voltage | $V_{supply} = +12\text{ V}^\dagger$ | $R_L = 10\ \Omega$ | $t_{p(g)} > 20\ \mu\text{s}$ | | 0.7 | 2 | V |
| | $V_{supply} = +12\text{ V}^\dagger$ | $R_L = 10\ \Omega$ | $t_{p(g)} > 20\ \mu\text{s}$ | | -0.8 | -2 | |
| | $V_{supply} = -12\text{ V}^\dagger$ | $R_L = 10\ \Omega$ | $t_{p(g)} > 20\ \mu\text{s}$ | | -0.8 | -2 | |
| | $V_{supply} = -12\text{ V}^\dagger$ | $R_L = 10\ \Omega$ | $t_{p(g)} > 20\ \mu\text{s}$ | | 0.9 | 2 | |

† All voltages are with respect to Main Terminal 1.

TIC226 SERIES SILICON TRIACS

APRIL 1971 - REVISED MARCH 1997

electrical characteristics at 25°C case temperature (unless otherwise noted) (continued)

| PARAMETER | TEST CONDITIONS | MIN | TYP | MAX | UNIT |
|---|--|---------|-----------|-----------|------------|
| V_{TM} Peak on-state voltage | $I_{TM} = \pm 12$ A $I_G = 50$ mA (see Note 6) | | ± 1.6 | ± 2.1 | V |
| I_H Holding current | $V_{supply} = +12$ V† $V_{supply} = -12$ V† $I_G = 0$ Init' $I_{TM} = 100$ mA Init' $I_{TM} = -100$ mA | | 5 -9 | 30 -30 | mA |
| I_L Latching current | $V_{supply} = +12$ V† $V_{supply} = -12$ V† (see Note 7) | | | 50 -50 | mA |
| dv/dt Critical rate of rise of off-state voltage | $V_{DRM} = \text{Rated } V_{DRM}$ $I_G = 0$ $T_C = 110^\circ\text{C}$ | | ± 100 | | V/ μ s |
| dv/dt _(c) Critical rise of commutation voltage | $V_{DRM} = \text{Rated } V_{DRM}$ $I_{TRM} = \pm 12$ A $T_C = 85^\circ\text{C}$ | ± 5 | | | V/ μ s |

† All voltages are with respect to Main Terminal 1.

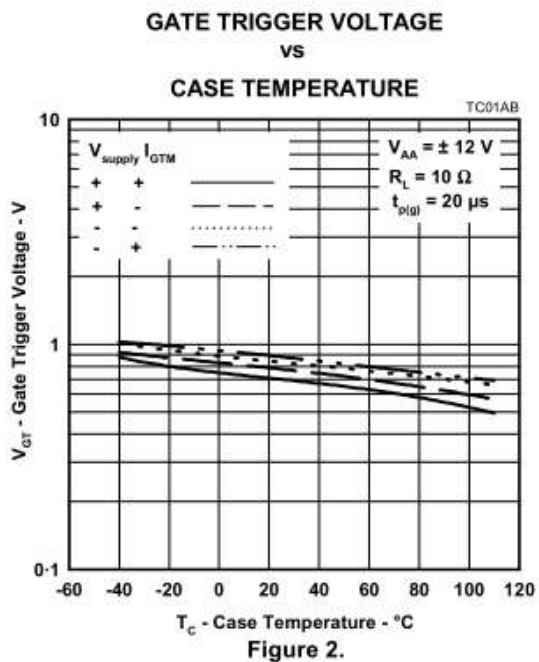
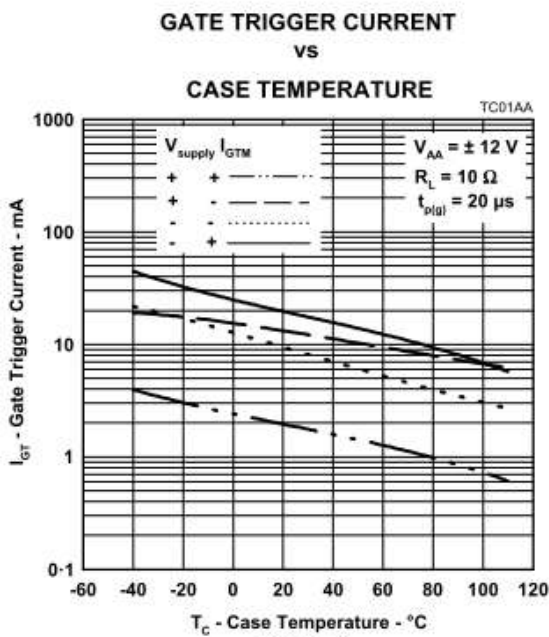
NOTES: 6. This parameter must be measured using pulse techniques, $t_p \leq 1$ ms, duty cycle $\leq 2\%$. Voltage-sensing contacts separate from the current carrying contacts are located within 3.2 mm from the device body.

7. The triacs are triggered by a 15-V (open-circuit amplitude) pulse supplied by a generator with the following characteristics:
 $R_G = 100 \Omega$, $t_{p(g)} = 20 \mu\text{s}$, $t_r \leq 15$ ns, $f = 1$ kHz.

thermal characteristics

| PARAMETER | MIN | TYP | MAX | UNIT |
|---|-----|-----|------|--------------------|
| $R_{\theta JC}$ Junction to case thermal resistance | | | 1.8 | $^\circ\text{C/W}$ |
| $R_{\theta JA}$ Junction to free air thermal resistance | | | 62.5 | $^\circ\text{C/W}$ |

TYPICAL CHARACTERISTICS

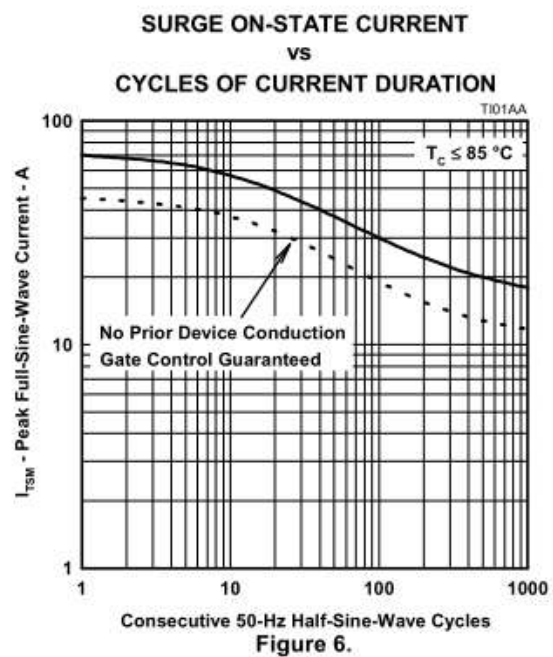
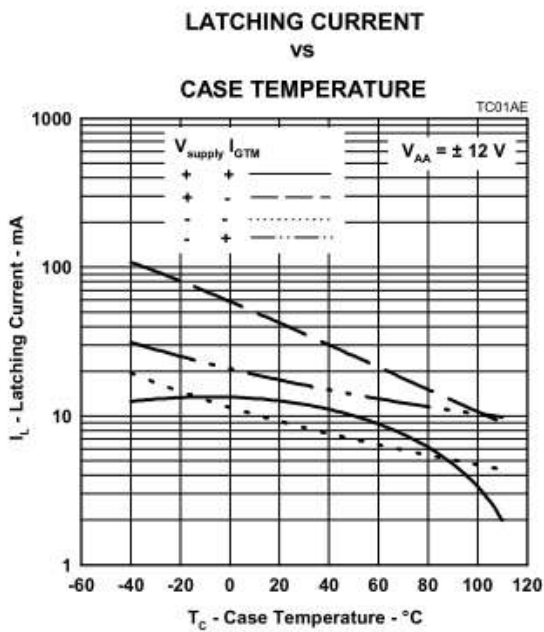
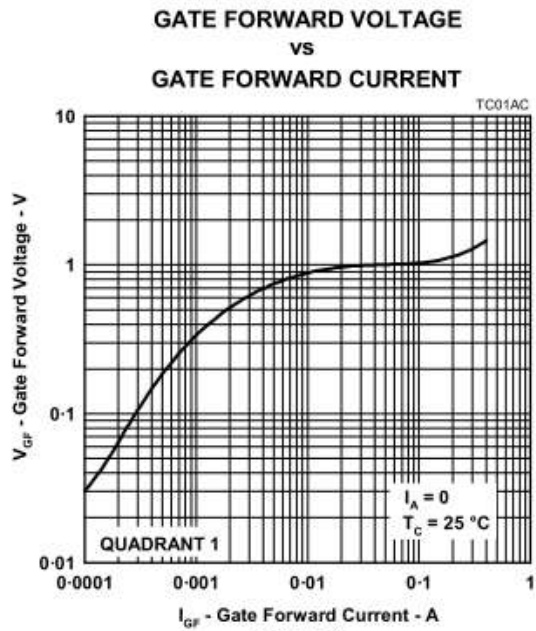
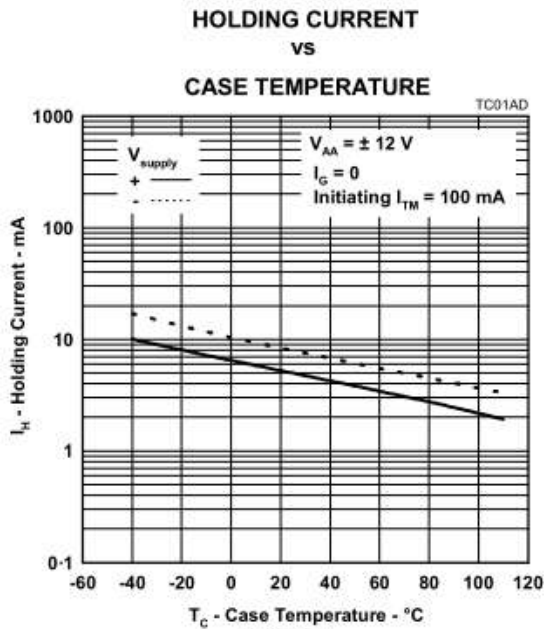


PRODUCT INFORMATION

TIC226 SERIES
SILICON TRIACS

APRIL 1971 - REVISED MARCH 1997

TYPICAL CHARACTERISTICS



PRODUCT INFORMATION

**TIC226 SERIES
SILICON TRIACS**

APRIL 1971 - REVISED MARCH 1997

TYPICAL CHARACTERISTICS

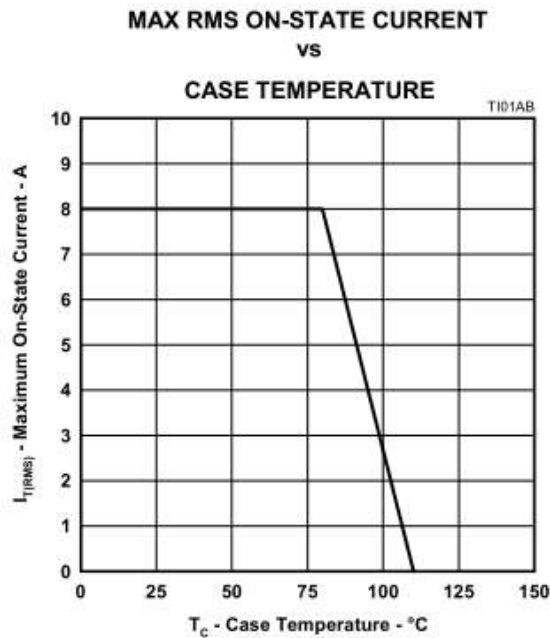


Figure 7.

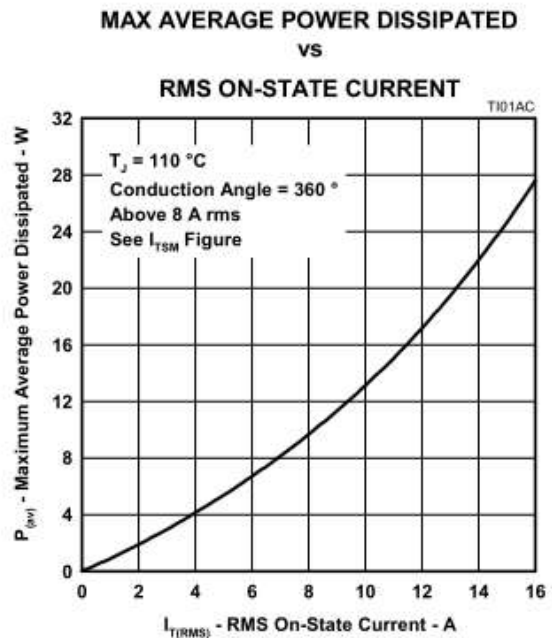
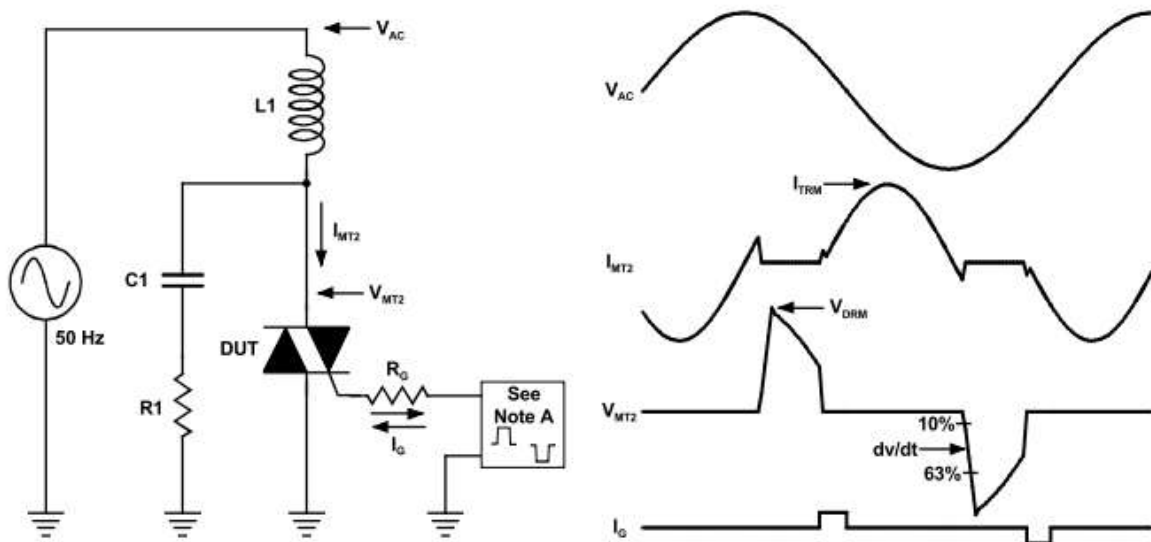


Figure 8.

PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION

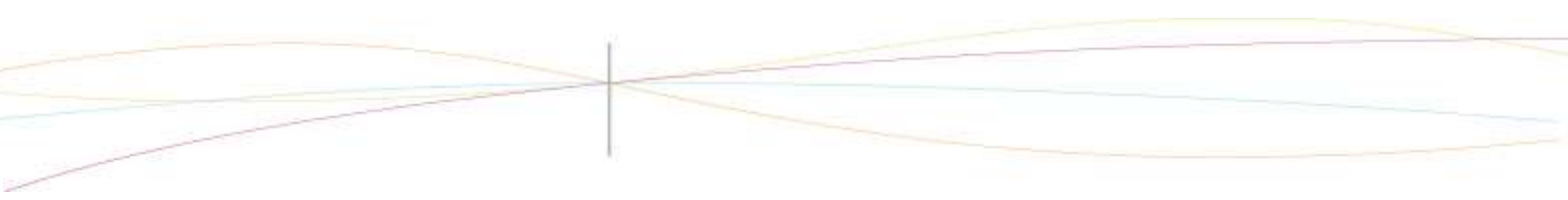


NOTE A: The gate-current pulse is furnished by a trigger circuit which presents essentially an open circuit between pulses. The pulse is timed so that the off-state-voltage duration is approximately 800 μ s.

Figure 9.

PMC2AA

PRODUCT INFORMATION

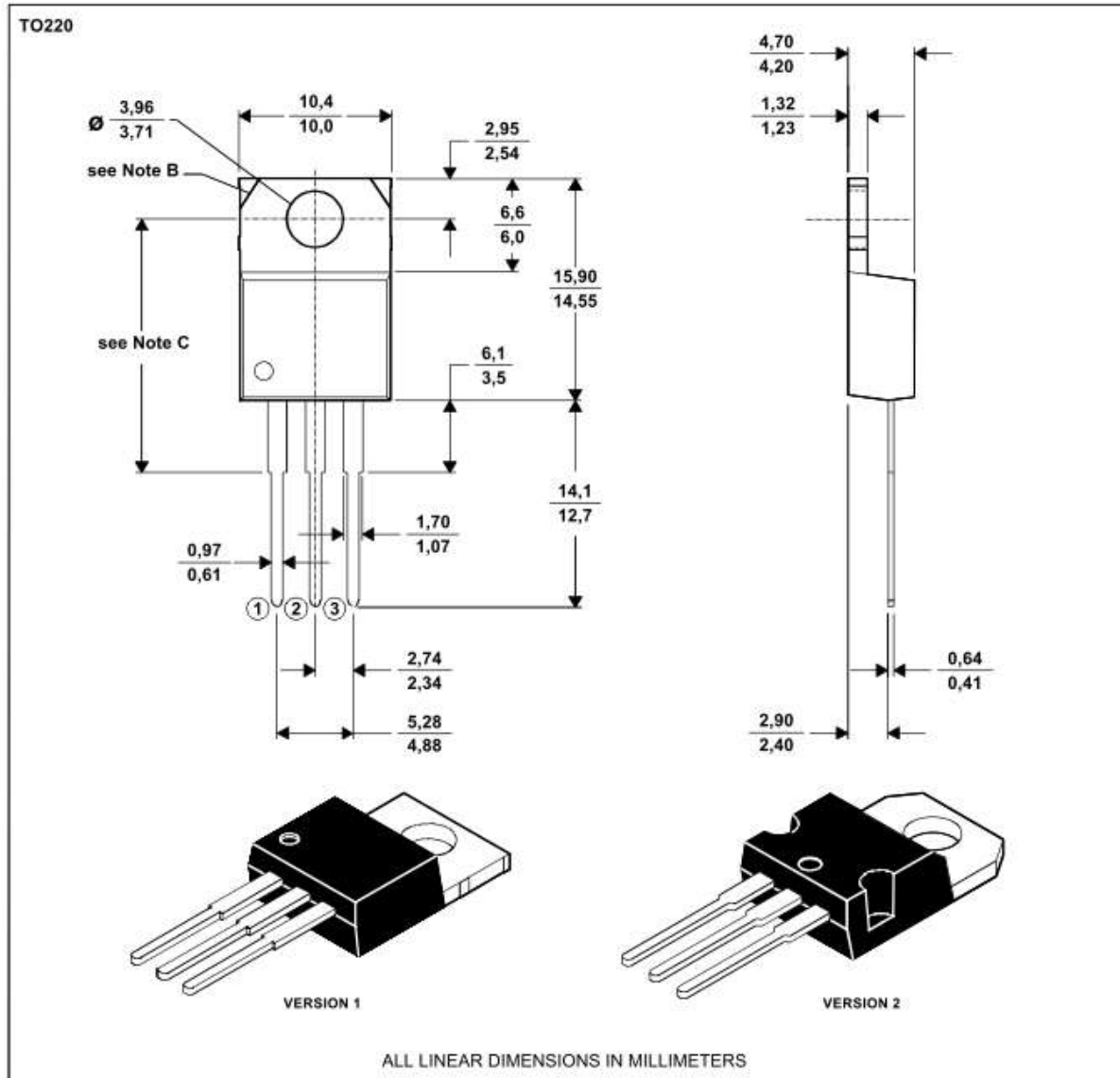


MECHANICAL DATA

TO-220

3-pin plastic flange-mount package

This single-in-line package consists of a circuit mounted on a lead frame and encapsulated within a plastic compound. The compound will withstand soldering temperature with no deformation, and circuit performance characteristics will remain stable when operated in high humidity conditions. Leads require no additional cleaning or processing when used in soldered assembly.



- NOTES: A. The centre pin is in electrical contact with the mounting tab.
 B. Mounting tab corner profile according to package version.
 C. Typical fixing hole centre stand off height according to package version.
 Version 1, 18.0 mm. Version 2, 17.6 mm.

MDXXBE

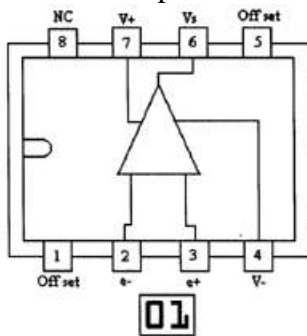
PRODUCT INFORMATION



6.1.1. Documentation AOP

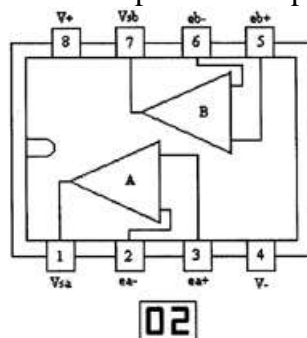
Brochage1 DIL08:

- CA3140E Amplificateur opérationnel BIMOS
- LF351N Amplificateur opérationnel à entrées J-FET
- LF356 Amplificateur opérationnel
- LM741N Amplificateur opérationnel
- NE5534 Amplificateur opérationnel à faible bruit
- OP27 Amplificateur opérationnel
- TL071 Amplificateur opérationnel faible bruit à entrées J-FET
- TL081 Amplificateur opérationnel à entrées J-FET
- TLC271 Amplificateur opérationnel

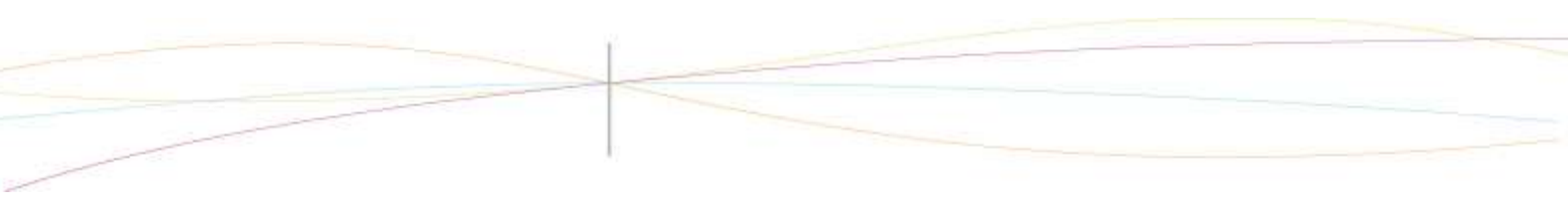


Brochage2 DIL08:

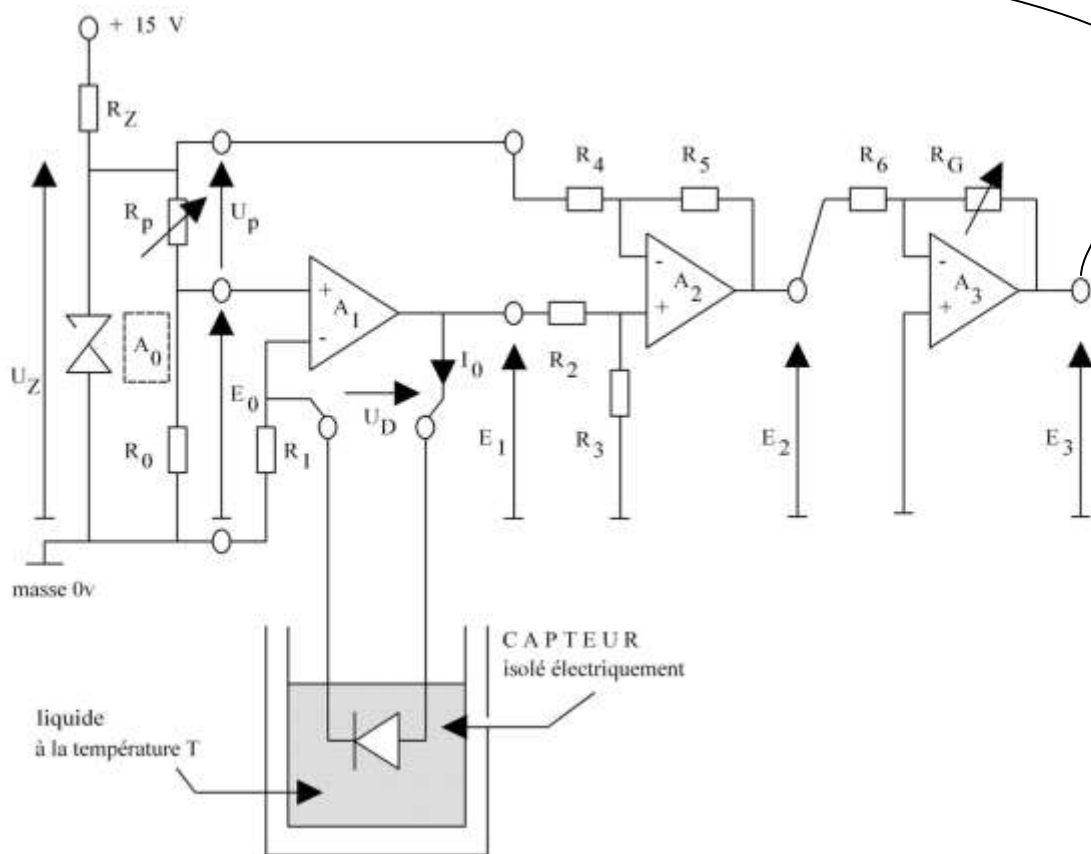
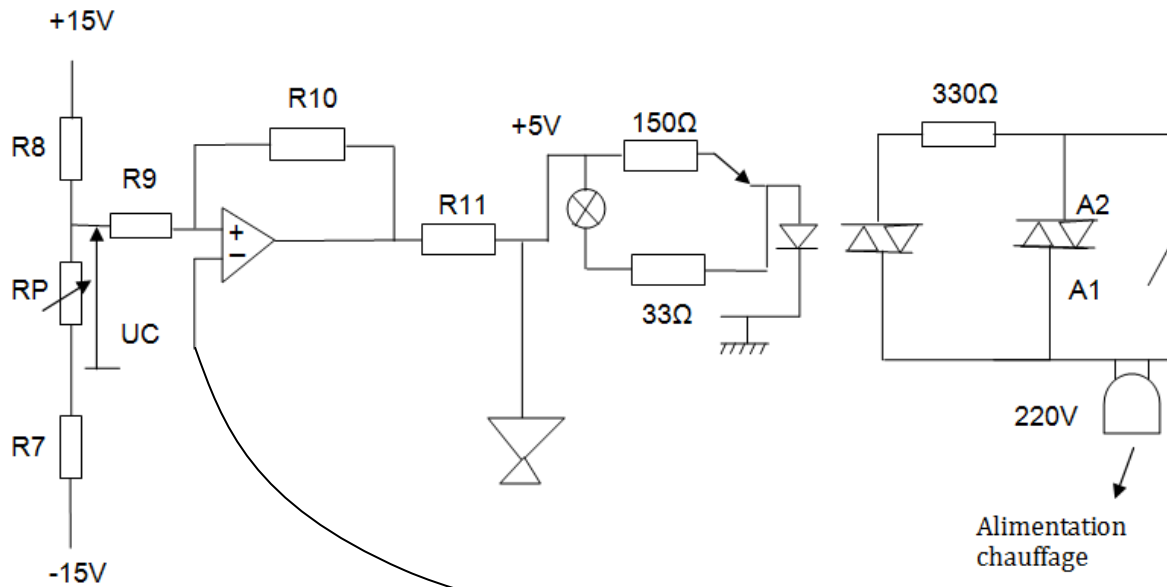
- AD708 Amplificateur opérationnel de précision
- LF353N Double amplificateur opérationnel à entrées J-FET
- LM358N Double amplificateur opérationnel faible consommation
- LM1458N Double amplificateur opérationnel
- LM833 Amplificateur opérationnel
- NE5532 Double amplificateur opérationnel à faible bruit
- OP275 Amplificateur opérationnel
- OP2604 Amplificateur opérationnel
- OP297 Amplificateur opérationnel
- TL072 Double amplificateur opérationnel faible bruit à entrées J-FET
- TL082 Double amplificateur opérationnel à entrées J-FET
- TLC272 Double amplificateur opérationnel
- TS272 Amplificateur opérationnel



Source : <http://www.zonetronek.com/modules/news/article.php?storyid=6>



6.2. Schémas de montages



6.3. Photos de l'expérience

