

J. SUCHET

Extraits relatifs aux thermistances

# *LES VARISTANCES*

THERMISTANCES

RÉSISTANCES NON LINÉAIRES

REDRESSEURS SECS

*et leur emploi dans  
l'électronique moderne*

ÉDITIONS CHIRON

40, rue de Seine

PARIS-6°

926

926

# LES VARISTANCES

*et leur emploi*

*dans l'électronique moderne*



## EN VENTE A LA MÊME LIBRAIRIE

---

- L. CHRÉTIEN — Ce que le technicien doit savoir des semi-conducteurs :  
diodes et transistors.
- L. CHRÉTIEN — Traité de physique électronique.
- S. DUPERRIER — La pratique du chauffage électronique.
- L. BOE — Dipôles et quadripôles : étude des circuits et de leur calcul.
- C. MONTGOMERY — Technique des mesures en micro-ondes  
(hyperfréquences), en 2 volumes.

730 605



J. SUCHET

B 220-67

926

# LES VARISTANCES

THERMISTANCES

RÉSISTANCES NON LINÉAIRES

REDRESSEURS SECS

*et leur emploi dans  
l'électronique moderne*

ÉDITIONS CHIRON

40, rue de Seine

PARIS-6°



## AVANT - P R O P O S

Hier déjà, "l'électronique" semblait complexe à nombre d'entre nous, mais n'utilisait pourtant qu'un nombre restreint de pièces détachées : résistances, condensateurs, bobinages, relais électromagnétiques, etc, au-dessus desquelles trônait la lampe de T.S.F. Les caractéristiques en étaient relativement simples et bien connues.

Nous avons vu apparaître dans les vingt dernières années une foule d'éléments bizarres : résistances dont la valeur n'était fixée qu'en fonction de la température, de la tension appliquée, du sens du courant, capacités variant avec température et tension, bobines à noyaux spéciaux sans pertes, amplificateurs magnétiques, etc. Les vieilles lois des courants électriques ne sont plus respectées et le calcul des circuits devient chaque jour plus ardu. Voici que l'apparition des transistors vient compléter une électronique nouvelle qui, à trente ans de distance, aura complètement changé de visage.

Le but du présent ouvrage est de familiariser le lecteur avec quelques-uns de ces nouveaux éléments.



100

### TROISIEME PARTIE

## APPLICATIONS DES VARISTANCES

Nous adopterons pour les différentes applications des varistances le classement suivant :

a) Mesure des températures par l'intermédiaire de la variation de résistance provoquée sur un semi-conducteur (thermistance), utilisation de la puissance électrique ainsi contrôlée pour l'enregistrement et la régulation. Mesures pouvant se ramener à une mesure de température, telle que celle de l'énergie transportée par un rayonnement électromagnétique. Calcul de l'action de la température sur des circuits complexes.

b) Applications utilisant la conduction unilatérale du semi-conducteur vers le conducteur métallique : production de courant continu à partir de courant alternatif au moyen de redresseurs secs. Etude du courant redressé. Calcul des circuits en fonction de la charge et de la tension continue requise.

c) Etude des varistances à caractéristiques non linéaires (thermistances fonctionnant en zone 2, résistances non linéaires, redresseurs soumis à de faibles tensions directes). Utilisation de ces caractéristiques pour la protection contre les surtensions et pour la régulation des tensions. Calcul des circuits non-linéaires les plus usuels.

d) Applications diverses : thermistances travaillant en milieu variable, thermistances à chauffage indirect, éléments non linéaires soumis à des tensions continues et alternatives superposées. Utilisation des varistances en liaison avec les relais électromagnétiques et les amplificateurs magnétiques.

## THERMOMETRIE ET THERMOREGULATION PAR SONDES A THERMISTANCES

(Généralités, larges gammes)

Parmi les divers procédés utilisés pour mesurer électriquement les températures, celui qui consiste à utiliser la variation de résistance d'un conducteur est entré dans le domaine industriel depuis une trentaine d'années. Cette méthode est appliquée couramment depuis les températures très basses jusqu'à 400 ou 500 °C tandis que les couples thermoélectriques sont utilisés de façon normale à partir de 300 ou 400 °C.

Lorsque les variations de résistance à mesurer sont faibles, les procédés de mesures thermiques qui en découlent utilisent le montage "en pont" qui comprend :

- la résistance de mesure ou "thermo-sonde",
- une résistance de comparaison,
- les deux bras d'un potentiomètre (fixe ou variable).

Il est alimenté par une source de tension continue ou alternative, stabilisée ou non. Sa diagonale de sortie est raccordée à un appareil terminal (indicateur d'équilibre, appareil de lecture à déviation, appareil électronique d'enregistrement ou de régulation).

Toute installation de thermométrie à résistance comprend donc :

- une thermosonde ou éventuellement plusieurs, fonctionnant avec un commutateur,
- un pont avec appareil terminal (figure 59).

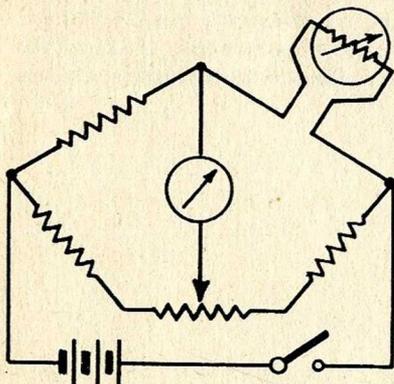


Figure 59.

### THERMOSONDES A VARISTANCES :

Les thermosondes usuelles étaient constituées autrefois par un fil conducteur bobiné (généralement de nickel ou de platine) dont la longueur était fixée avec précision de manière à présenter une résistance donnée à la température de référence.

Nous avons vu au chapitre 1 que si le coefficient de température des conducteurs métalliques est de l'ordre de + 0,3 à + 0,4%/°C, celui des



semi-conducteurs qui constituent les varistances est de l'ordre de  $-1$  à  $-5\%/^{\circ}\text{C}$ . Pour une même variation de température la variation du courant traversant une varistance sera donc beaucoup plus grande que celle traversant une résistance. Le coefficient de température des semi-conducteurs n'étant toutefois pas constant, le courant n'est pas une fonction linéaire de la température. D'autre part nous avons vu au chapitre 5 que la reproductibilité des varistances laissait à désirer en raison de leur technique particulière de fabrication.

En principe, toutes les varistances ayant un coefficient de température élevé, les résistances non-linéaires et les redresseurs peuvent être employés dans les thermosondes au même titre que les thermistances. Nous avons vu cependant au chapitre 10 que l'action de la température sur ces éléments n'est pas très bien définie; leur alimentation sous tension constante est d'autre part une nécessité absolue. Pratiquement donc, seules les thermistances sont utilisées en thermométrie et thermorégulation. Ce sont d'ailleurs les seuls éléments qui permettent de disposer de variations de résistance importantes pour de faibles variations de température.

Le coefficient de température des thermistances est pour les températures ambiantes usuelles environ 10 fois plus élevé que celui des métaux, et il reste encore 5 fois plus élevé à  $140^{\circ}\text{C}$ . Il y a donc là une supériorité énorme, qui permet d'utiliser un appareil de mesures beaucoup plus robuste et de remplacer dans la plupart des cas le montage en pont de la figure 59 par un simple montage en série de la source, de la thermistance et de l'appareil. La seule limitation provient du manque de régularité des caractéristiques et de leur faible stabilité.

On peut donc prévoir trois domaines d'utilisation différents :

1°) Larges gammes de température (de l'ordre de  $200^{\circ}\text{C}$ ) avec un appareil de mesures très robuste et une précision de l'ordre du degré.

2°) Faibles gammes de température (de l'ordre de  $20$  à  $25^{\circ}\text{C}$ ) avec un appareil de mesures ordinaire et une précision de l'ordre du dixième de degré.

3°) Détection de variations de température rapides (seconde ou minute) d'amplitude très faibles ( $1/100$  ou  $1/1000^{\circ}\text{C}$ ), l'élément étant alimenté en courant alternatif de basse fréquence et le courant de sortie amplifié.

#### PRECAUTIONS A OBSERVER :

Dans chacun de ces trois domaines, il conviendra d'observer la même règle générale :

"Le point figuratif de la thermistance sur le graphique logarithmique "tension-intensité doit constamment rester dans la zone 1 ou zone "à résistance différentielle positive" (voir chapitre 8 : mise sous tension d'une thermistance).

Mais si nous prenons l'exemple de la thermistance miniature envisagée au chapitre 7 (chauffage direct), il est évident que la figure 34 n'est

valable que dans l'air à 25 °C. Pour une température extérieure de 50 °C par exemple, les puissances évacuables par les fils de connexions seront de :

75 °C	(50 KO)	25 × 0,1 = 2,5 mW
100 °C	(20 KO)	50 × 0,1 = 5,0 mW
125 °C	(10 KO)	75 × 0,1 = 7,5 mW
150 °C	(5,7 KO)	100 × 0,1 = 10 mW

En joignant les points ainsi définis par les valeurs de la résistance et de la puissance dissipée, on obtient la caractéristique dans l'air à 50 °C. On obtiendrait de même celles relatives aux températures de 75°, 100°, 125° (figure 60). Il est clair que si l'on applique aux bornes

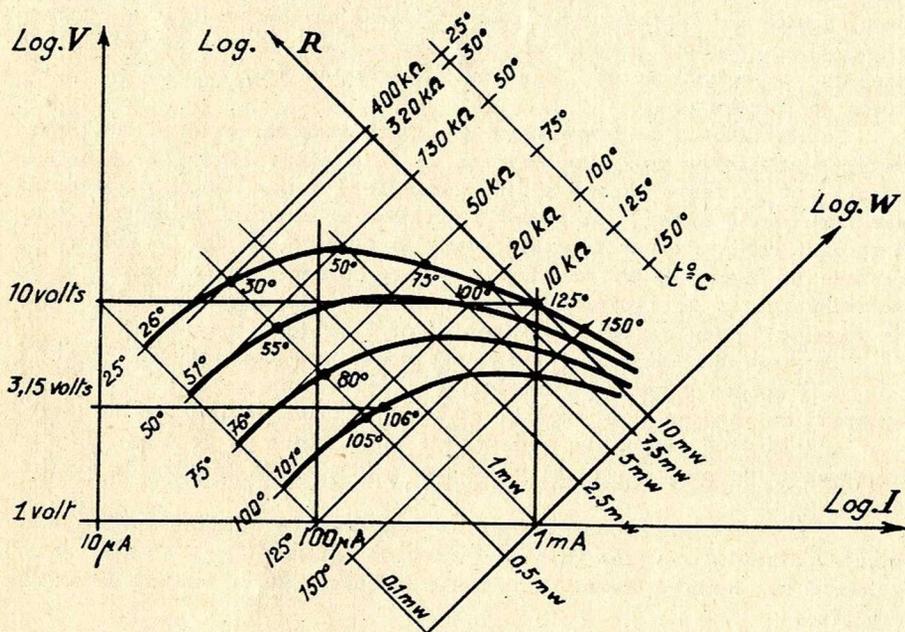


Figure 60

de la thermistance une tension de 10 volts, elle "basculera" dans la zone 2 dès que la température extérieure atteindra 60 °C.

Comme il n'est pas question de tracer un tel réseau de courbes chaque fois que l'on monte un thermomètre à thermistance, on se contentera de déterminer :

- d'après le graphique  $\log V - \log I$  à 25 °C : la puissance maxima  $W_{max}$  à dissiper dans l'élément pour rester nettement en deçà du maximum . dans l'exemple considéré,  $W_{max} = 0,5 \text{ mW}$ .



- d'après le graphique  $\log R - \frac{434}{273 + t}$  : la résistance minima

que peut atteindre l'élément dans la gamme de température envisagée. Dans l'exemple considéré, pour 100 °C par exemple,  $R_{\min} = 20 \text{ KO}$ .

Les expressions  $W = \frac{V^2}{R}$   $W_{\max} = \frac{V^2}{R_{\min}}$  donnent alors la tension

maxima à appliquer aux bornes de l'élément :  $V = \sqrt{W_{\max} \times R_{\min}}$ . Dans l'exemple considéré,  $V^2 = 0,5 \times 10^{-3} \times 20 \times 10^3$  soit  $V = 3,15$  volts.

On remarquera que sous cette tension, la thermistance atteint la température de 106 °C dans une ambiance à 100 °C. Il aurait donc fallu utiliser une tension encore plus faible si l'on avait voulu limiter cet échauffement : ainsi pour ne pas dépasser 1 °C en plus, on pouvait fixer  $W_{\max}$  à 0,1 mW, ce qui donnait une tension de 1,7 volts.

Il est bien entendu que l'exemple choisi est particulièrement désavantageux, étant donné la très faible dissipation thermique de l'élément.

LARGES GAMMES DE TEMPERATURES :

Un exemple typique de ce premier cas est la mesure de la température de l'eau dans les radiateurs des moteurs à explosions. Cette mesure est habituellement réalisée soit par un thermocontact à bilame qui se ferme en allumant une lampe sur le tableau de bord du véhicule lorsque la température de l'eau atteint 98 °C, soit par un thermomètre à tension de vapeur relié par une tubulure à un petit manomètre sur le tableau de bord. Le thermocontact fournit seulement un signal d'alarme, ce qui est nettement insuffisant, et le thermomètre à tension de vapeur nécessite la pose d'une tubulure allant jusqu'au tableau de bord de la voiture, opération particulièrement malcommode lorsque le moteur est à l'arrière.

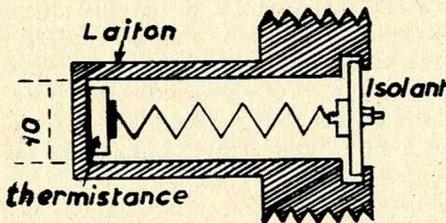


Figure 61.

La figure 61 montre une sonde type standard adaptée pour que l'on puisse y placer une thermistance en forme de pastille mince. L'élément est appliqué contre le fond plat de la sonde par un ressort qui forme contact, l'ensemble est rempli d'huile et fermé par sertissage sur une rondelle isolante. Le modèle C.S.F. type A de 500 ohms à 25 °C par exemple tombe à 35 ohms à 100 °C et permet une

dissipation de 0,5 watt sans échauffement notable. On peut également utiliser une thermistance en forme de bâtonnet de 4 mm de section et de 15 mm à 20 mm de longueur, ce qui permet de réduire le diamètre de la

sonde. Il est inutile alors de placer l'élément dans l'huile. Des éléments Kanéga de faible valeur ont été ainsi utilisés avec des coefficients de température de - 2 à - 3%/°C.

L'appareil de mesures utilisé sur le tableau de bord du véhicule n'est pas un simple milliampèremètre, car l'indication dépendrait alors non seulement de la température de l'eau mais encore de la tension, assez variable, de la batterie. On utilise donc un quotient-mètre à deux enroulements dont l'un est connecté directement aux bornes de la batterie, et l'autre en série avec la thermistance. Cette dernière est d'ailleurs souvent shuntée afin d'obtenir une variation de résistance de l'ensemble plus proche d'une variation linéaire en fonction de la température (cette question sera étudiée en détail dans le chapitre 16). La figure 62

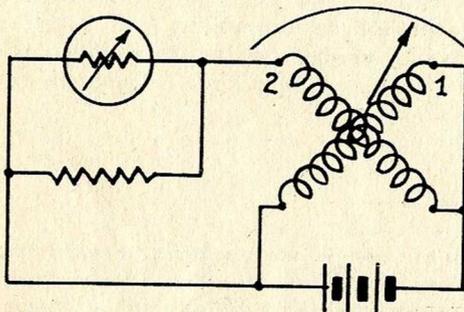


Figure 62.

montre le schéma général de montage. Le champ créé par la bobine 1 est proportionnel à la tension aux bornes de la batterie et celui créé par la bobine 2 est proportionnel au courant traversant la thermistance shuntée. L'aiguille dévie donc proportionnel-

lement au rapport  $\frac{V}{I}$ , c'est-à-dire

à la résistance de l'élément shunté.

Il est toujours désirable, lorsqu'on utilise une thermistance aux fins de thermométrie, de

la faire traverser par un courant suffisamment faible pour ne pas échauffer l'élément au-dessus de la température ambiante. Toutefois, dans l'application dont nous venons de parler, le bas prix de revient du quotient-mètre et sa robustesse supposent qu'il soit traversé par un courant important. On est donc amené pratiquement à échauffer la thermistance légèrement au-dessus de la température de l'eau. Cet échauffement serait de peu d'importance s'il n'était fonction de la tension appliquée aux bornes de l'élément, c'est-à-dire de la tension variable de la batterie (cf. figure 34 chapitre 7). Une même sonde plongée dans un radiateur à 70 °C et étalonnée pour une batterie 6 volts pourrait indiquer par exemple 69 °C lorsque la batterie est déchargée (5 volts) et 72 °C après recharge (7 volts) si l'échauffement de la thermistance est trop important. Il y aurait donc là une légère cause d'erreur.

La régulation de température de bains de sel ou d'alliages métalliques, d'étuves ou de fours à basse température constitue une autre application type du premier cas. Les températures de 200 ou 250 °C auxquelles fonctionnent au plus les thermistances ordinaires semblent en effet être dépassées par l'apparition récente de "thermistances réfractaires" pour lesquelles certains producteurs tels que Kanéga ou C.S.F. n'hésitent pas à reculer la température limite d'emploi jusqu'à 900 ou 1000 °C. Si la stabilité de ces éléments réfractaires se révèle à l'usage aussi bonne que celle des thermistances ordinaires, de larges

domaines leur sont ouverts. Leur sensibilité est en effet supérieure à celle des couples thermoélectriques et elles peuvent surtout fournir une puissance beaucoup plus importante.

Par exemple un élément réfractaire de 1000 ohms à 350 °C sera employé pour la régulation d'un bain d'alliage métallique destiné au moulage de caractères d'imprimerie. Un exemple de schéma de montage est donné par la figure 63 :  $S$ , secteur;  $T_f$ , transformateur de faible

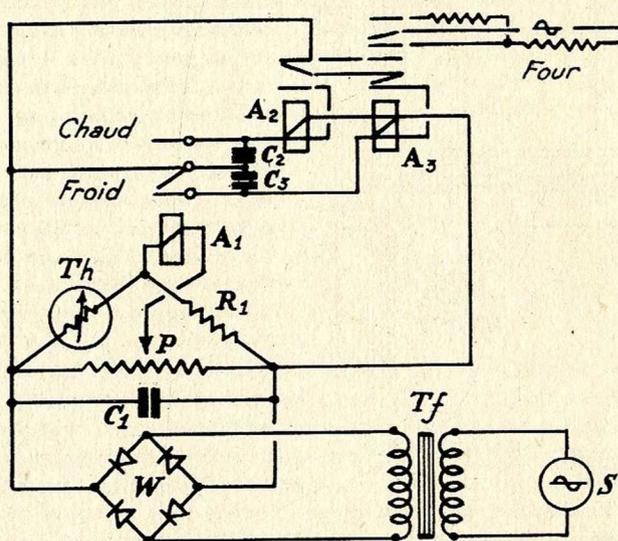


Figure 63.

puissance 110/60 volts;  $W$ , cellule redresseuse;  $C_1$ , chimique;  $Th$ , thermistance réfractaire;  $R_1$ , résistance ordinaire 1 watt;  $P$ , potentiomètre;  $A_1$ , relais sensible polarisé inverseur par exemple 0,1 volt 400 ohms;  $C_2$  et  $C_3$ , condensateurs de faible valeur. Etant donné la puissance relativement importante disponible à la sortie du pont, le relais à cadre pourra être choisi robuste. Le relais inverseur  $A_3$  bipolaire est doublé d'un relais identique unipolaire  $A_2$ , le système de blocage ainsi réalisé permettant de supprimer l'effet de mauvais contacts au relais sensible par suite de vibrations ou de chocs mécaniques.

Nous avons donné un montage utilisant des relais car on préfère souvent s'affranchir des problèmes d'alimentation et avoir une meilleure résistance aux chocs mécaniques, mais des montages à lampes pourraient aussi bien convenir. Il y a intérêt à fixer dans le pont  $R_1 = Th$  et  $P = R_1 + Th$  pour la température moyenne d'utilisation (par exemple  $Th = 2000$  ohms). L'intervalle de température entre le déclenchement du relais sensible (bain trop chaud) et son enclenchement (bain trop froid) est de l'ordre de 4 °C.

A plus haute température (700/800 °C), nous trouvons, pour l'aviation, la mesure de la température des gaz d'éjection des turboréacteurs, et la régulation de leur marche en fonction de cette indication. Les thermosondes affectent une présentation particulière représentée sur la figure 64. Le corps, en acier inoxydable, est percé d'une large ouverture  $O_1$

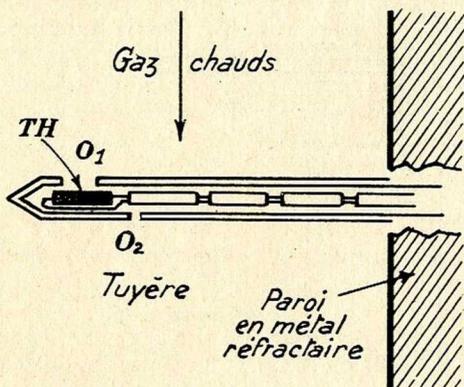


Figure 64.

face à l'arrivée des gaz à la hauteur de la thermistance réfractaire, et d'une ouverture beaucoup plus petite  $O_2$  du côté opposé, plus près de la paroi. On assure ainsi le renouvellement des gaz dans la thermosonde sans que leur vitesse de passage soit suffisamment élevée pour provoquer un échauffement supplémentaire de la thermistance par frottement. Cette dernière doit être protégée par un émail réfractaire étanche car les gaz d'éjection peuvent être soit fortement réducteurs, soit fortement oxydants, et risqueraient de réagir chimiquement avec le matériau semi-conducteur.

On peut rattacher au premier cas toutes les mesures et contrôles de température sur moteurs à explosions (eau des radiateurs, huile des carters, gaz d'échappement) dans les industries automobile et aéronautique, sur les enroulements et paliers de moteurs électriques ainsi que sur l'huile des transformateurs dans l'industrie électrique, sur l'eau ou la vapeur d'eau dans les installations de chauffage domestique (voir plus loin), ou sur l'atmosphère dans les ballons-sondes employés en météorologie, etc. Les applications sont innombrables et le thermomètre à thermistance s'impose chaque fois qu'il faut satisfaire aux conditions suivantes : robustesse et transmission à distance de l'information (pour lecture, enregistrement ou régulation).

## CHAPITRE 14

# THERMOMETRIE ET THERMOREGULATION PAR SONDES A THERMISTANCES

(Gammes étroites)

### FAIBLES GAMMES DE TEMPERATURE :

La principale application rentrant dans le deuxième cas est la mesure, le contrôle ou la compensation des variations de la température ambiante.

#### a) MESURE - CONTROLE :

Le cas se présente à bord d'avions ou de navires où l'on désire être renseigné sur la température d'endroits difficilement accessibles, ainsi que par exemple sur des silos à grains, magasins et entrepôts divers, etc. La thermosonde à thermistance s'impose également lorsque l'on désire un enregistrement comme par exemple en météorologie à terre ou dans l'agriculture, ou une régulation en fonction des variations de la température ambiante, comme c'est le cas pour les installations de chauffage domestique dans les habitations ainsi que pour la climatisation des cabines d'avions.

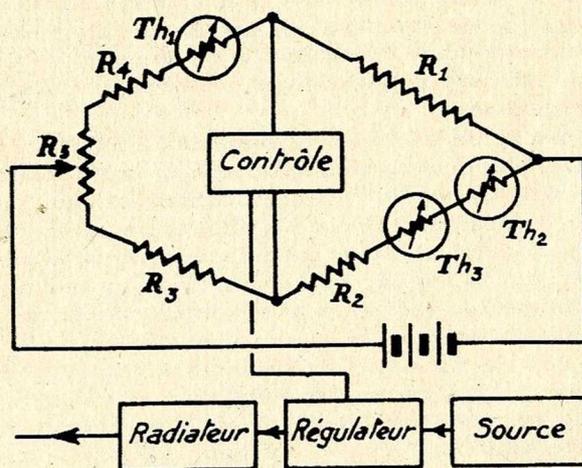


Figure 65.

La figure 65, par exemple, donne le schéma d'un montage électronique destiné à contrôler une installation de chauffage domestique. Le pont est initialement équilibré de manière à régler la température ambiante intérieure à la valeur désirée. Dans ces conditions la chaleur créée compense exactement les pertes de chaleur vers l'extérieur de l'habitation. La thermistance  $TH_1$  (Western Electric) est montée à l'extérieur, et sa résistance augmente quand la température extérieure baisse. Pour compenser cette augmentation de valeur de  $TH_1$  et équilibrer à nouveau le pont, la thermistance  $TH_2$  montée sur la source de chaleur doit voir sa valeur diminuer, c'est-à-dire que sa température doit augmenter. Un apport de chaleur supplémentaire sera ainsi déclenché en contrôlant la marche de la source de chaleur à l'aide d'un dispositif polarisé inséré dans le pont. Convenablement réglé, ce circuit donne un contrôle précis, maintenant la température dans des limites assez serrées sans retard indésirable entre les variations de température extérieure et celles de la marche du système de chauffage.

L'addition d'une thermistance  $TH_3$ , placée dans la pièce principale de l'habitation, permet d'instaurer un contrôle plus précis et d'amener à l'habitation une quantité de chaleur supplémentaire au cas où l'équilibre est détruit par l'ouverture d'une porte ou d'une fenêtre. Notons que ce troisième élément est le seul à fonctionner dans un faible intervalle de température et donc à classer dans cette deuxième catégorie d'applications thermométriques. Le potentiomètre  $R_5$  permet de modifier la température de réglage suivant le désir des habitants. Quand la température extérieure reste constante, tout accroissement de l'apport calorifique de la source au-dessus de la valeur requise pour compenser les pertes déséquilibre le pont dans un sens tel qu'il tende à réduire la chaleur. La chaleur dissipée vers l'extérieur et celle apportée par la source sont ainsi équilibrées à chaque instant.

Nous avons décrit ce dispositif en détail - quoique de tels raffinements de confort ne soient pas très répandus dans notre pays - car il est un bon exemple des possibilités étendues des thermistances dans le domaine de la régulation automatique. On notera l'extrême simplicité du circuit et sa robustesse. Il peut facilement être inversé pour s'appliquer à un système de réfrigération.

Citons encore le contrôle des "glaces chauffantes", principalement à bord des avions. Ces glaces, réalisées en deux ou plusieurs épaisseurs de verre de sécurité tel que le "Triplex" contiennent dans leur épaisseur un réseau de fins fils métalliques chauffants connectés en parallèle grâce à deux traits de métal pulvérisé dans deux rainures parallèles aux bords. A l'intérieur du réseau, entre deux fils, et en dehors du champ de vision, est encastrée une thermistance (par exemple une résistance NTC Philips de 500 ohms à 20 °C en forme de plaquette rectangulaire 26,5 x 7 x 1,8 mm. La variation de résistance de cette thermistance provoque ou coupe l'excitation d'un relais électromagnétique qui met hors circuit les spirales par exemple à 40 °C et les remet en circuit à 20 °C. On évite ainsi la formation de buée à l'intérieur et de givre à l'extérieur. L'avantage du système automatique est d'éviter, au moment où le givrage commence, l'envoi brutal par le pilote de la puissance de chauffage (qui peut atteindre 1 kW) dans une glace à -5 ou -10 °C, avec les risques de rupture qu'une telle manoeuvre comporte, par suite des tensions internes créées.



b) COMPENSATION :

La compensation des variations de température extérieure consiste à maintenir constante la résistance électrique d'un circuit quelles que soient les conditions extérieures. Un appareil de mesures par exemple comporte un cadre en fil de cuivre dont le coefficient est + 0,4%/°C. Un cadre de 100 ohms à 20 °C aura aux températures voisines les résistances suivantes :

$t$ °C :	10	15	20	25	30	35	40
$R$ ohms :	96	98	100	102	104	106	108

L'écart de 12 ohms entre les valeurs extrêmes représente une variation relative de 12 % pour une variation extérieure de 25 °C ± 15. Une telle variation est inacceptable même dans un appareil de classe industrielle, un millivoltmètre de classe 2,5 % pour prendre un cas précis, et le constructeur met en série avec le cadre une résistance de manganin de 400 ohms au minimum de façon à ramener la variation relative à 2,5 % au plus. Le manganin a une résistivité de 42 microhms-cm (cuivre 1,67) et un coefficient de température négligeable pour les températures considérées (0,002%/°C environ). Il convient donc particulièrement bien à cet usage. La puissance nécessaire à la mesure est de ce fait multipliée par 5.

En lieu et place du manganin, on a avantage à placer en série une thermistance de faible valeur qui variera en sens inverse de la résistance du cadre. Sa valeur doit varier de 12 ohms environ entre 10 et 40 °C. En admettant - ce qui n'est qu'une approximation grossière - que la variation soit linéaire entre 10 et 40 °C,

$$\alpha = \frac{\Delta R}{R \Delta t} = \frac{12}{20 R}$$

$$R \alpha = - 0,6$$

On voit qu'une valeur de 15 ohms conviendra pour un coefficient de -4% et une valeur de 30 ohms pour un coefficient de -2%. On prendra pratiquement des valeurs un peu plus faibles à cause de la non-linéarité de la loi  $R(t)$ . Supposons par exemple que nous utilisions une thermistance Western Electric type 3A qui fait 10 ohms à 25 °C avec un coefficient de -3,8%/°C et calculons la valeur exacte de la résistance totale du cadre et de la thermistance en série aux 4 valeurs 10, 20, 30 et 40 °C (figure 66) :

$t$ °C	$\frac{434}{273 + t}$ (tabl. I)	$\frac{0,434 B}{273 + t}$ ( $B = 3420$ v. chap. 12)	$\log R$ thermist. ( $\log A = 4,02$ v. ch. 12)	$R$ thermist. ohms	$R$ th. + cadre ohms
10	1,534	5,25	1,27	18,6	114,6
20	1,482	5,07	1,09	12,3	112,3
30	1,433	4,90	0,92	8,3	112,3
40	1,388	4,75	0,73	5,4	113,4

La variation relative est maintenant retombée à 2,5%, et ceci en multipliant la puissance nécessaire à la mesure par 1,1 seulement (au lieu de 5). L'avantage est net. Il suppose toutefois que le producteur puisse livrer des thermistances interchangeables aussi bien comme valeur

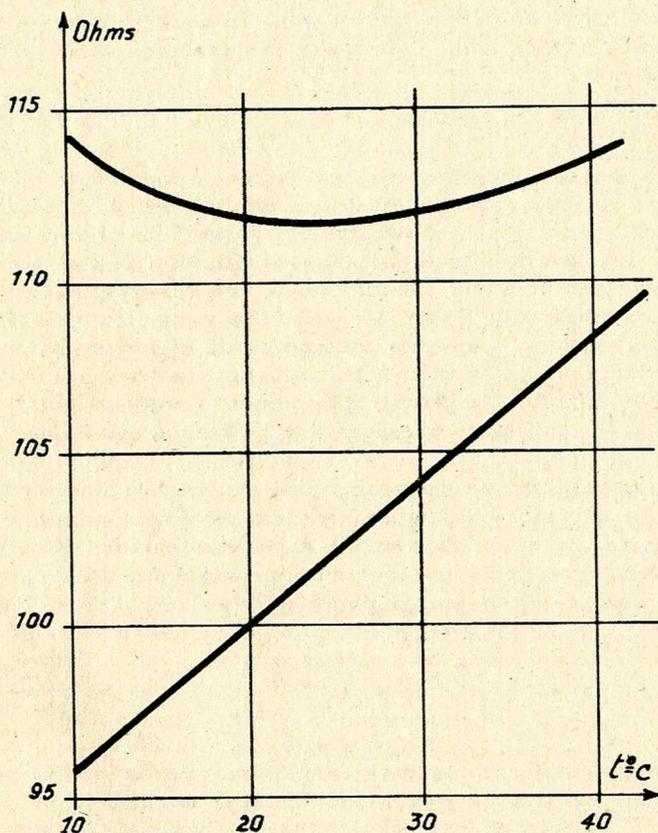


Figure 66.

à 20 °C que comme coefficient. Nous savons que cette condition est difficile à réaliser, aussi ajuste-t-on souvent la valeur de l'élément à 20 °C au moyen d'une résistance de manganin en série ou en parallèle : on retombe pratiquement sur les chiffres précédents quand la tolérance sur la thermistance n'excède pas  $\pm 10\%$ .

On classera dans la deuxième catégorie toutes les applications intéressant l'industrie frigorifique, en particulier les installations à bord de navires ou de wagons (température variant de - 5 à + 15 °C environ). Il en est de même des applications biologiques pour l'étude de la température des animaux à sang chaud, et médicales, telles que par exemple la thermométrie intraveineuse du sang (thermosonde spéciale se rapprochant du montage de la figure 56). Dans toutes ces applications la gamme des températures de travail est très restreinte et l'on peut avoir la certitude absolue d'obtenir sans difficultés le 1/10 de degré.

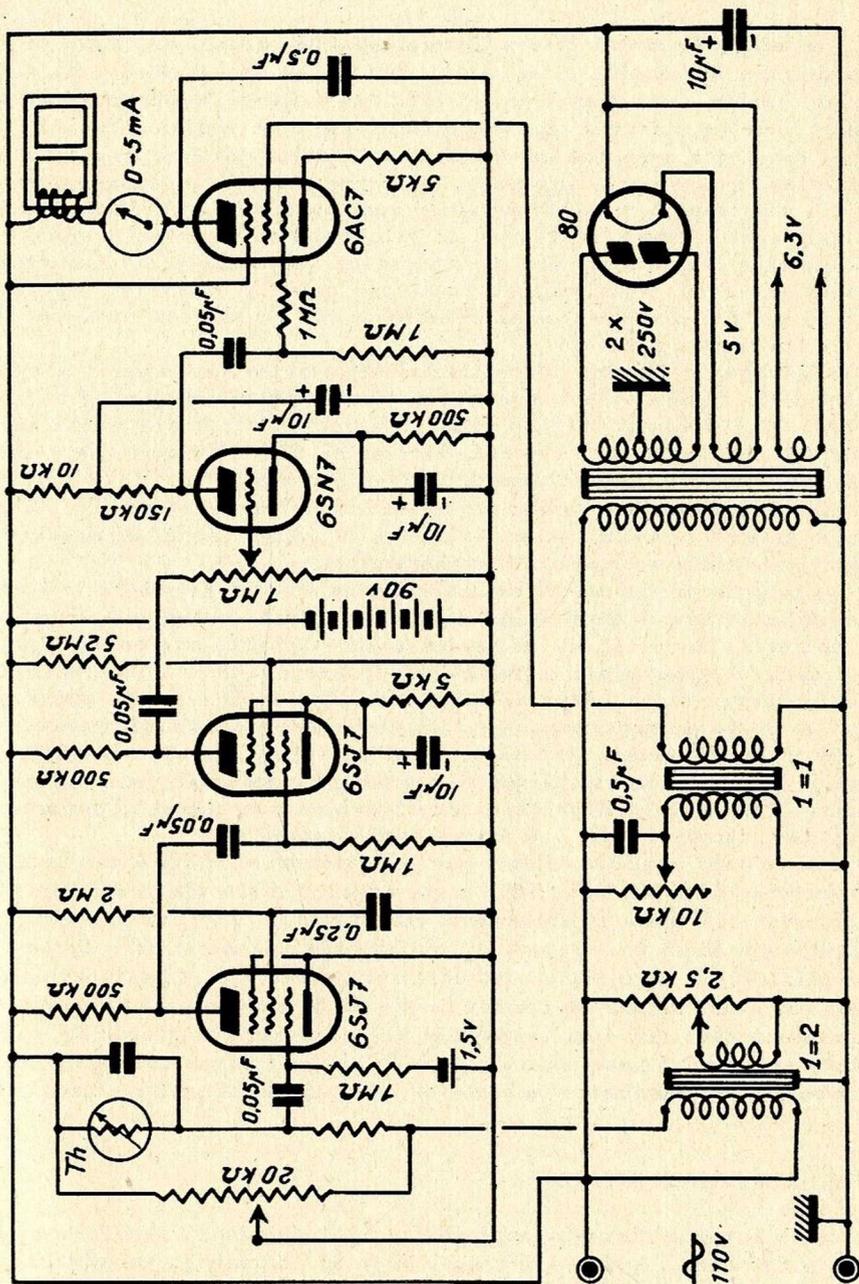


Figure 67.

*DETECTION DE SAUTS DE TEMPERATURE INFIMES :*

Le manque de stabilité des thermistances ne se fait sentir que si la température à laquelle elles sont soumises se trouve varier dans de larges limites. S'il s'agit de détecter des sauts de température extrêmement faibles autour d'une température que l'on pourrait considérer comme constante avec des moyens d'investigation normaux ou même d'en contrôler la constance rigoureuse, la dérive d'une thermistance soumise depuis longtemps à cette température sera pratiquement nulle. Un dispositif amplificateur réglé avec le plus grand soin permettra alors en laboratoire d'apprécier des variations de température atteignant le  $1/1000$  de degré. Nous pensons toutefois qu'il y a intérêt à ne pas opérer sur des températures supérieures à  $100^{\circ}\text{C}$  si l'on recherche la précision maxima possible.

Les types de schémas d'amplification possibles sont assez nombreux. Celui de la figure 67 est emprunté à "Toute l'Electronique" (Editions B.P.I., Paris 1951); il est relatif à une thermistance américaine (Western Electric code D 169.604, barreau de faibles dimensions enrobé dans du verre) de  $145.000$  ohms à  $0^{\circ}\text{C}$  et  $305$  ohms à  $200^{\circ}\text{C}$  ( $B = 3900$ ) et dont la température maxima d'utilisation est donnée pour  $210^{\circ}\text{C}$ . Le schéma prévoit l'amplification ultérieure du signal par un amplificateur magnétique pour le chauffage d'un thermostat.

Cette thermistance est branchée sur un circuit en pont à l'entrée d'un amplificateur à trois étages (6J7 - 6J7 - 6N7): le pont est alimenté en courant alternatif et un condensateur variable aux bornes de la thermistance permet d'équilibrer la phase; ainsi la phase s'inverse selon que la thermistance est plus chaude ou plus froide que le point de réglage et le montage comporte, à la suite des étages amplificateurs, un détecteur de phase. Ce détecteur est constitué par une tétrode 6AC7 dont la grille écran est alimentée en courant alternatif par l'intermédiaire d'un circuit déphaseur permettant de compenser la variation de phase introduite par les étages amplificateurs.

Le courant anodique délivré par le détecteur alimente l'enroulement de contrôle d'un amplificateur magnétique et règle ainsi l'intensité du courant délivré à l'enroulement chauffant ( $30$  ohms) du thermostat; la puissance ainsi fournie est proportionnelle au déséquilibre du pont: l'amplificateur magnétique peut délivrer  $40$  watts et la saturation du noyan est atteinte pour un courant de  $50$  mA. Le fonctionnement du système régulateur est assuré en contrôlant les courants de saturation et de débit; en outre, il est possible de déceler les légères fluctuations de température en branchant à la sortie du pont un oscillographe cathodique.

*TYPES D'ELEMENTS EMPLOYES :*

Les types d'éléments employés varient suivant l'importance des divers facteurs: prix, tolérance, inertie thermique, encombrement, résistance, dissipation thermique. Les barreaux obtenus par filage sont généralement les moins chers alors que le prix des thermistances miniatures est assez élevé. On peut trouver barreaux et blocs avec une



tolérance de  $\pm 5$  ou  $10 \%$  alors que les miniatures sont toujours livrées avec une tolérance large, de l'ordre de  $\pm 20$  à  $30 \%$ . Par contre, la constante de temps de ces dernières est de 10 à 100 fois plus faible que celles des blocs (par exemple la constante d'une thermistance miniature Transco type 83 900 *N* employée en thermométrie des gaz est de 3 secondes alors que celle d'un bloc Stantel type *KB* figure 53 utilisé pour mesurer la température moyenne d'une paroi métallique peut atteindre 5 minutes). Lorsque des conditions d'encombrement se posent, on utilisera généralement avec profit les sondes telles que celle de la figure 56, constituées par une thermistance miniature enrobée de verre et placée à l'extrémité d'une tige fine : le diamètre est en général de 3 mm et l'élément peut être introduit dans un trou de graissage de moteur, mais le danger d'échauffer ces sondes en y faisant passer un courant trop important est particulièrement grand (puissance maxima de 1 à 10 milliwatts suivant le milieu dans lequel plonge la pointe). Enfin il faut savoir que pour un matériau donné, la résistance de l'élément à la température d'utilisation sera très élevée pour une thermistance miniature, moyenne pour un barreau, et faible pour une pastille ou un disque. La dissipation thermique augmente naturellement avec la surface extérieure de l'élément et l'agitation du milieu ambiant.

Remarquons que, un matériau pour thermistances étant caractérisé par sa constante *B*, aux valeurs élevées de *B* sont toujours associées des résistivités et des coefficients de température élevés ( $\log R = \log A + \frac{0,434 B}{273 + t}$  et  $\alpha = -\frac{B}{T^2}$ ) alors qu'aux basses valeurs de *B* sont toujours associées des résistivités et des coefficients de température faibles. Il est donc inutile, pour une forme géométrique donnée, de chercher à disposer simultanément d'une faible résistance et d'un coefficient de température élevé.