

L'ELECTRONIQUE



COMMANDE

LA VIE MODERNE

RETRONIK.FR

FASCICULE N° 16

Nous avons déjà publié en 1953 un bulletin (N° 3) sur les mesures et régulations de température. L'importance du sujet et le développement de la technique nous ont paru justifier une nouvelle étude plus complète de la question.

MESURE ET RÉGULATION DES TEMPÉRATURES

Pour un très grand nombre d'opérations industrielles, la mesure et la régulation de la température sont des problèmes essentiels. Dans les industries chimiques, alimentaires, métallurgiques, un réglage très précis des températures est nécessaire à l'élaboration de certains produits; de plus, chaque fois que la chose est possible, on cherche à rendre automatique la régulation de la température, sans avoir à compter sur l'intervention plus ou moins rapide d'un opérateur, dont quelles que soient la valeur et la conscience professionnelle, on peut toujours craindre une inattention ou une fausse manœuvre.

MESURES

1° CAPTEURS

Comme dans tous dispositifs de mesure par voie électronique, il est nécessaire d'utiliser un « capteur » fournissant une tension proportionnelle à la température à mesurer. Ces capteurs sont de diverses natures : fils métalliques - thermocouples - thermistances - sondes détectrices de rayonnement.

SONDES A FIL MÉTALLIQUE

La résistance d'un fil métallique varie en fonction de la température du milieu dans lequel il se trouve. La mesure de sa résistance permet donc de déterminer la température du milieu. Pour effectuer cette mesure avec la plus grande précision, on associe le fil métallique à un pont de Wheatstone. On utilise des fils de nickel ou de cuivre pour des températures comprises entre la température ambiante



et $+150^{\circ}\text{C}$. La loi de variation de la résistance en fonction de la température étant linéaire pour le cuivre, on emploie ce dernier si l'on désire faire des mesures différentielles. L'emploi d'un fil de platine permet d'élargir la gamme des températures mesurables de $-100 + 600^{\circ}\text{C}$. Cependant pour ces températures en général, on utilise les thermocouples.

SONDES THERMO-ÉLECTRIQUES

Les sondes à couple thermo-électrique sont constituées par une soudure de deux métaux différents. Cette soudure est le siège d'une différence de potentiel variable avec la température, la loi de variation étant sensiblement linéaire.

Les couples sont de natures différentes suivant les gammes de température à mesurer :

- a) Jusqu'à $500 + 600^{\circ}\text{C}$: couple fer-constantan ($55 \mu\text{V}$ par degré C);
- b) jusqu'à $1.000 + 1.100^{\circ}\text{C}$: couple chromel-alumel ($40 \mu\text{V}$ par degré C);
- c) aux températures plus élevées jusqu'à 1.700°C : couple platine-platine rhodié ($10 \mu\text{V}$ par degré C).

Grâce à des précautions spéciales, ce dernier couple a pu être employé pour la mesure de la température de bains d'acier en fusion (étude des Ets Chatillon-Commentry et Pyrométrie Industrielle).

SONDES A THERMISTANCES

Les thermistances sont des résistances ayant un coefficient de température négatif. La variation rapide de leur résistance en fonction de la température permet des mesures d'une grande précision. Avec certains types de thermistance, on peut mesurer des températures allant jusqu'à 1.200°C .

CAPTEURS DE RAYONNEMENT CALORIFIQUE

Lorsque les températures sont très élevées et risquent de détériorer les systèmes à résistance ou à thermocouple, ou bien lorsque le matériau dont on veut mesurer la température se déplace, on emploie des pyromètres à radiations munis d'un système optique de visée. Dans ces derniers un bolomètre ou une thermopile reçoit l'énergie rayonnée et la transforme en différence de potentiel. L'énergie absorbée par la couche d'air séparant le pyromètre de la source est assez importante (2 à 5 % pour 50 cm) et augmente considérablement si des gaz absorbants (CO_2) se trouvent mêlés à l'air, aussi est-il nécessaire de se placer le plus possible à l'abri de ceux-ci.

CAPTEURS A CELLULE PHOTO-ÉLECTRIQUE

Pour les mesures à distance de températures élevées $600 + 3.000^{\circ}\text{C}$ qui nécessitent une indication instantanée, on utilise les cellules photo-électriques à cathode de caesium-argent. Les radiations lumineuses infrarouges viennent frapper cette cellule qui produit une tension proportionnelle au rayonnement. Cette tension est alors envoyée à un amplificateur électronique et peut ensuite commander un indicateur ou actionner un régulateur de température. Avec les cellules photo-électriques il est même possible de mesurer la température des pièces en cours de traitement dans les flammes : en effet la cellule est impressionnée par une bande bien déterminée proche de l'infrarouge et ne répond pas aux radiations des flammes.

Les éléments thermosensibles que nous venons de voir peuvent être reliés à un galvanomètre à cadre mobile monté sur pivots qui sera gradué par comparaison en millivolts ou, directement en degrés.

Toutefois, ce genre d'instrument reste fragile, sensible aux actions externes : chocs et vibrations en particulier. C'est pourquoi on préfère utiliser la méthode du pyromètre potentiométrique qui amplifie par voie électronique le courant détecté et dont le principe même (basé sur la comparaison de la phase de deux courants), permet d'éviter l'emploi du galvanomètre et, ainsi, d'obtenir un appareil robuste, transportable et de grande précision.

2° PYROMÈTRES

PYROMÈTRE POTENTIOMÉTRIQUE

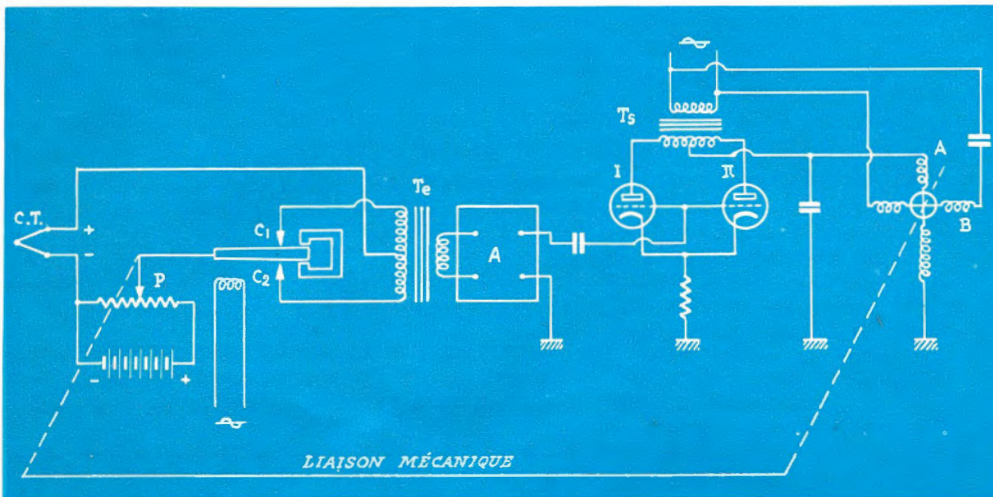


Fig. 1. - Schéma de principe du pyromètre automatique de Brown - Honeywel.

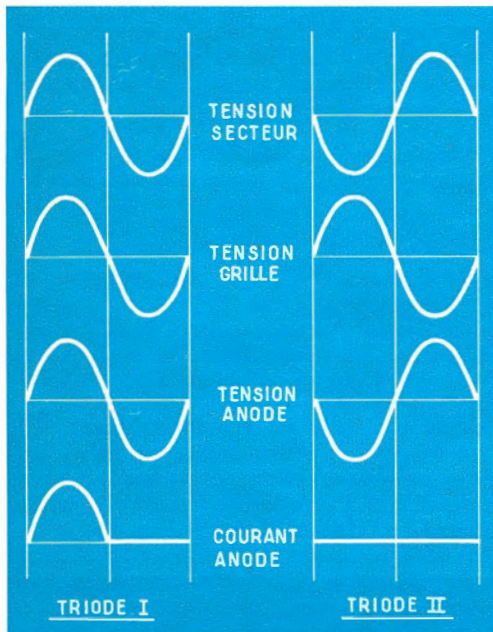


Fig. 2. - Fonctionnement des deux triodes de l'amplificateur de puissance.

La mesure de la température est facilement réalisée grâce au principe du « potentiomètre automatique ». Il s'agit d'une méthode de comparaison de la phase de deux courants alternatifs en vue d'obtenir un couple moteur qui entraîne automatiquement l'aiguille d'un indicateur.

Le potentiomètre automatique convient pour la mesure et l'enregistrement de phénomènes pouvant se traduire par des variations de tension ou de résistance. Le système offre l'avantage d'être insensible aux actions extérieures telles que mouvements, chocs, vibrations ou aux vibrations accidentelles de tension du secteur d'alimentation. De plus, il ne comporte pas d'organes fragiles, tels que pivots et cadres de galvanomètre.

La puissance absorbée est minime, puisque le servo-moteur n'entraîne que le curseur du potentiomètre et l'aiguille de l'indicateur de température.

Le « potentiomètre automatique » est particulièrement approprié à la mesure et le contrôle de la température d'une enceinte. Dans ce dispositif l'organe détecteur de la température est une sonde à couple thermo-électrique.

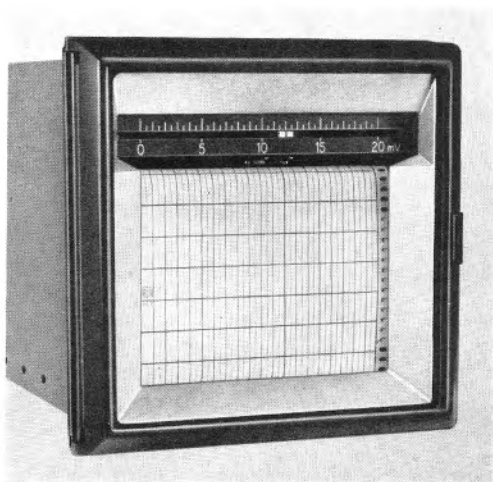


Fig. 3. - Face avant du potentiomètre enregistreur MecI type "Minipont".

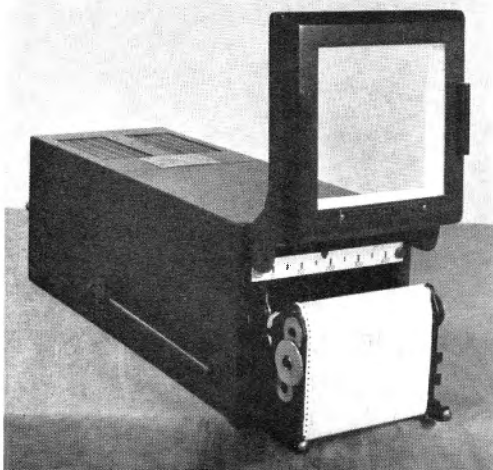


Fig. 4. - Potentiomètre enregistreur miniature de la pyrométrie industrielle.

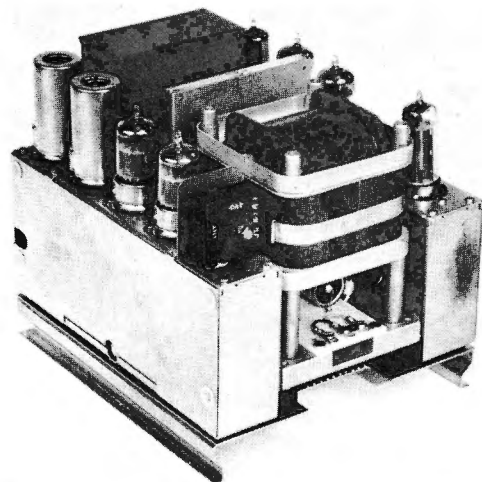


Fig. 5. - Amplificateur électronique du potentiomètre enregistreur (MECI)

A titre d'exemple nous donnons le schéma de principe du modèle bien connu de Brown-Honeywell qui est à la base de différentes réalisations industrielles (fig. 1).

Le circuit de mesure comprend un couple thermo-électrique CT et un potentiomètre P de compensation. A la tension continue fournie par le couple CT peut être opposée une tension fournie par le potentiomètre P. Le curseur de ce potentiomètre est relié à la lame d'un vibreur électromagnétique comportant un aimant permanent et une bobine excitatrice alimentée par le secteur alternatif. La lame oscille entre les contacts C_1 et C_2 reliés aux extrémités du primaire d'un transformateur Te, dont le point milieu est connecté au circuit de mesure.

Le secondaire du transformateur Te est relié à l'entrée d'un amplificateur à tubes électroniques qui a pour but d'élever le niveau du signal. La tension de sortie de l'amplificateur est transmise aux grilles de deux triodes de puissance I et II dont les anodes sont alimentées en opposition de phase par le secondaire d'un transformateur Ts dont le primaire est relié au secteur.

Le fonctionnement des deux triodes I et II de l'amplificateur de puissance s'explique ainsi (fig. 2) :

a) Lorsque la tension appliquée aux grilles est en phase avec celle du secteur, les grilles sont positives pendant l'alternance positive du secteur.

La triode I, dont l'anode est également positive, débite donc un courant. Pendant l'alternance négative, par contre, elle ne débite pas.

La triode II ne pourrait débiter un courant que pendant l'alternance négative du secteur, qui rend son anode positive. Mais à ce moment sa grille est suffisamment négative pour bloquer tout débit.

On voit qu'on obtient finalement dans le circuit anodique de la triode I une série d'impulsions positives.

b) Lorsque la tension appliquée aux grilles est déphasée de 180° par rapport à celle du secteur, le résultat est inversé et les impulsions positives apparaissent dans le circuit anodique de la triode II. Enfin, en l'absence de tension grille, chacune des triodes débite alternativement en opposition de phase.

Le servo-moteur est du type biphase à induction. Ses enroulements inducteurs sont branchés respectivement : A, sur la sortie de l'amplificateur de puissance; B, sur la tension du secteur, avec insertion d'une capacité C déphasant le courant de 90° .

Suivant la phase de la tension appliquée à l'entrée du transformateur, le courant dans l'enroulement A du servo-moteur sera en avance ou en retard de 90° sur la tension du secteur. Le moteur tournera donc dans un sens ou dans l'autre.

Le moteur entraîne le potentiomètre P dont le déplacement fait varier la tension de compensation opposée à la tension fournie par le couple CT. Le moteur est actionné jusqu'à ce que l'équilibre soit rétabli. L'indicateur lié au potentiomètre donne alors la température précise de l'enceinte dans laquelle est placé le couple CT.

Dans l'industrie moderne les contrôles de température sont de plus en plus indispensables; aussi de façon à diminuer le nombre d'appareils tout en ayant le même nombre d'informations, les potentiomètres enregistreurs ont la possibilité de relever la courbe de température de plusieurs directions (fig. 3 et 4). Le relevé se fait alors, soit en trait continu lorsqu'on n'emploie qu'une seule direction, soit en pointés de différentes couleurs lorsque plusieurs directions sont en service. Grâce à l'électronique, une grande stabilité et une grande précision (0,6 % de l'étendue de l'échelle pour des échelles partant de zéro) ont pu être obtenues, ainsi qu'une très bonne sensibilité (fig. 5).

PYROMÈTRE A CELLULE PHOTO-ÉLECTRIQUE

1°) Températures supérieures à 600° C

Pour la mesure des températures supérieures à 600° C il existe dans l'état actuel de la technique des cellules photo-émissives à vide qui sont assez fidèles pour être utilisées sans un réétalonnage trop fréquent (en particulier si elles sont employées à la température ambiante). La Société d'Applications Photo-Electriques a ainsi réalisé deux modèles de pyromètres, dont la figure n° 6 représente le schéma de principe du type PE 3.

On module soit le flux lumineux à la fréquence d'environ 400 Hz par un disque, percé de trous, entraîné par un petit moteur, soit le courant fourni par la cellule à l'aide de la tension du secteur appliqué sur un enroulement intercalé dans son circuit plaque, ce qui facilite l'amplification du courant photo-électrique. L'amplificateur comporte deux tubes pentodes MAZDA. La composante alternative de sortie est redressée par un pont à 4 cellules au sélénium alimentant un galvanomètre.

Une contre-réaction d'intensité d'un taux très élevé est appliquée à l'entrée de l'amplificateur, ce qui rend le courant de sortie sensiblement indépendant de la valeur de la résistance directe des cellules redresseuses. On élimine ainsi l'influence d'une variation toujours possible des caractéristiques des redresseurs. La sensibilité de ce type de pyromètre est, en haut de la gamme, de l'ordre de 1/2 degré C. En associant au pyromètre décrit ci-dessus un dispositif de commande, il est possible de réaliser un système de régulation automatique de la température à une valeur déterminée.

Un principe analogue utilisant le rayonnement infrarouge a pu être utilisé industriellement pour le réglage des brûleurs d'une machine à souder les boîtes de conserves. Le dispositif utilise un montage différentiel permettant de comparer photo-électriquement la température de la soudure à contrôler à celle d'une source de référence de température réglable. Le fonctionnement entièrement automatique assure la commande de l'exécution des soudures à la cadence de six boîtes par seconde.

2°) Températures comprises entre 150° C et 600° C

Pour les températures comprises entre 150° C et 600° C il faut alors faire appel à des cellules photoconductrices soit au plomb soit à jonction au germanium dont le maximum de sensibilité se situe dans l'infrarouge. Malheureusement ces cellules sont très peu fidèles et possèdent un bruit de fond ainsi qu'un courant d'obscurité qui croît très rapidement avec la température. La Société SAPE a réalisé un pyromètre (fig. 7) où l'on compare le flux φ_1 émis par le corps au flux φ_2 émis par une lampe tare parcourue par un courant ajustable. Le principe utilisé consiste à moduler en opposition de phase les flux φ_1 et φ_2 à l'aide d'un disque D percé de trous de façon que φ_1 vienne frapper la cellule lorsque φ_2 est obturé ou inversement. Ces deux flux excitant la même cellule photoconductrice, on obtient, aux bornes de la résistance de charge, une tension dont la composante alternative à la fréquence de modulation (400 Hz) présente l'une ou l'autre phase suivant la différence d'intensité des deux flux. Cette tension est envoyée à un discriminateur de phase qui reçoit en plus une tension de référence. Cette tension de référence est obtenue à l'aide d'une cellule supplémentaire et d'une lampe dont le flux lumineux est masqué périodiquement à l'aide du même disque D. Le signal continu de sortie du discriminateur de phase est envoyé à un amplificateur à courant continu dont la sortie attaque la grille d'un étage de puissance qui alimente finalement la lampe tare émettant le flux φ_2 .

Ce système a l'avantage de donner une indication indépendante en grande partie de la tension d'alimentation ainsi que du vieillissement des tubes.

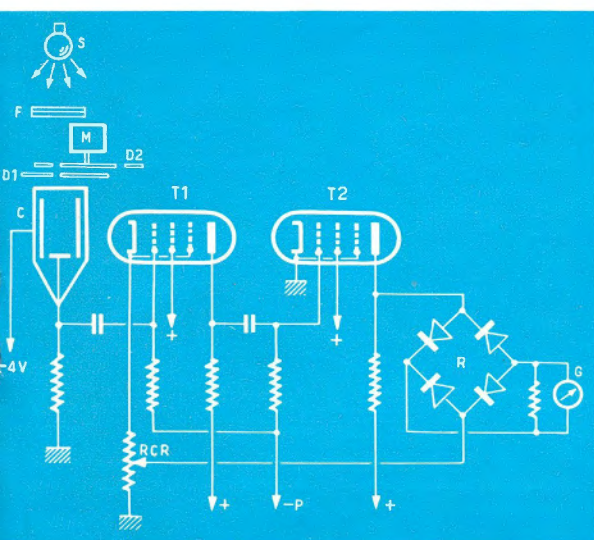


Fig. 6. - Schéma de principe du pyromètre photo-électrique S.A.P.E.

- S Corps dont on veut mesurer la température
- F Filtres
- D1 Diaphragme
- M Moteur d'entraînement du disque percé
- D2 Disque percé
- C Cellule B.G.
- T1, T2 Tubes amplificateurs
- R Redresseur
- G Galvanomètre
- RCR Réglage du taux de contre-réaction

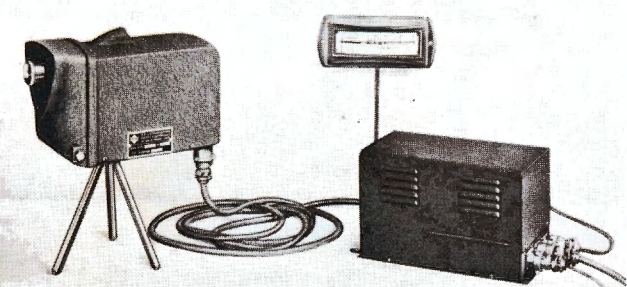


Fig. 7. - Pyromètre à cellule photoconductrice de la Société S.A.P.E.

RÉGULATION DES TEMPÉRATURES

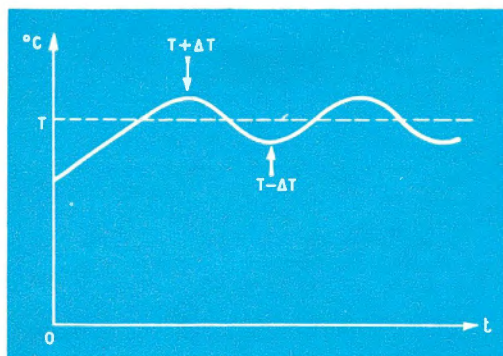


Fig. 8. - Courbe de régulation de la température d'une enceinte.

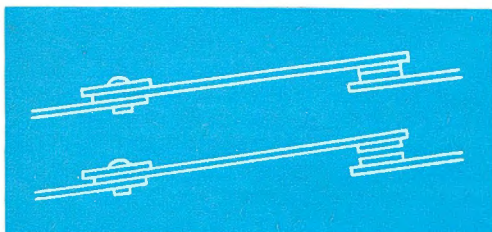


Fig. 9. - Bilame élémentaire représenté au repos et en fonctionnement.

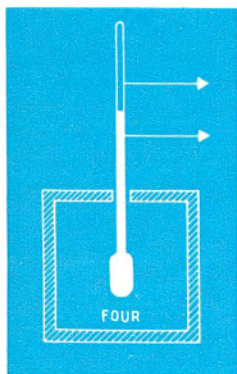


Fig. 10. - Thermomètre à contact.

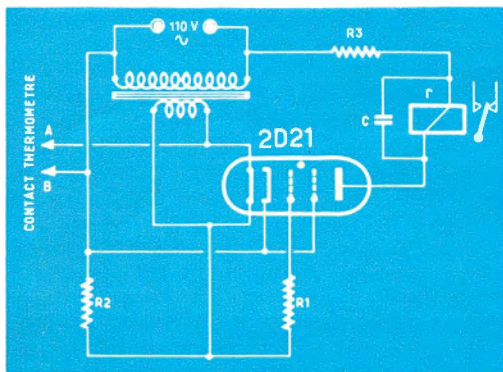


Fig. 11. - Relais à thyatron pour thermomètre à contact. Lorsque le mercure établit le contact entre A et B une tension alternative de 6'3 en opposition de phase avec la haute tension se trouve appliquée entre la grille et la cathode des thyatrons. Ce dernier est ainsi bloqué et le relais décolle.

Pour pouvoir effectuer la régulation de la température d'une enceinte, il est nécessaire que la source d'énergie calorifique soit prévue pour porter l'enceinte à une température supérieure à la valeur requise T . Lorsque l'enceinte atteint la valeur $T + \Delta T$, le régulateur doit intervenir pour supprimer ou réduire l'apport de chaleur. La température ne décroît alors qu'à une valeur $T - \Delta T$ pour laquelle le régulateur rétablira ou augmentera l'apport de chaleur.

La figure 8 représente sommairement l'allure de la température de l'enceinte.

Pour que cette température présente une grande stabilité il est nécessaire que le dispositif de régulation soit sensible à de très faibles valeurs de l'écart de température ΔT .

LE BILAME

Le bilame constitue le thermostat normalement utilisé dans les appareils électrodomestiques, d'un fonctionnement simple, certes, mais peu précis. Le modèle élémentaire est représenté fig. 9. Une lame, longue et mince, est supportée par une plaquette fixe à une extrémité, et porte, à l'autre extrémité, généralement une plaquette de contact. La lame est dite « bimétal » ou « bilame », parce qu'elle est constituée par deux bandes de métal soudées ayant des coefficients de dilatation différents (ainsi le coefficient de dilatation du cuivre est neuf fois plus grand que celui du fer). La chaleur agissant sur la lame thermostatique, détermine la dilatation des deux bandes métalliques. Les métaux sont disposés de telle sorte que la lame qui se dilate la plus rapidement avec la température, soit placée à la partie supérieure. Lorsque la température de fonctionnement est atteinte, la lame est devenue suffisamment incurvée pour que le point de contact soit bien au-dessus du contact inférieur.

Si cet ensemble est incorporé dans le circuit d'un élément chauffant (cuisinière électrique par exemple), on comprend aisément qu'il peut réguler, c'est-à-dire maintenir entre certaines limites la température, en coupant ou en rétablissant le courant traversant l'élément chauffant.

Dans le cas d'un appareillage quelconque, le déplacement de l'extrémité du bilame peut commander un relais réglant l'intensité de la source d'énergie par l'intermédiaire de cames ou de vannes.

THERMOMÈTRE A CONTACT

Dans le thermomètre à contact, du type classique, à mercure (fig. 10), les sorties s'effectuent par deux fils généralement en platine. Le contact inférieur est alors fixe et le contact supérieur mobile de façon à pouvoir le régler à la température désirée. Le déplacement de ce contact est réalisé à l'aide d'un aimant.

Lorsque la température T est atteinte, la dilatation du mercure met en court-circuit les deux fils et permet ainsi de couper l'alimentation de l'élément chauffant (fig. 11).

Si la précision du thermomètre à contact est bonne par rapport au bilame, sa fragilité exige des précautions pour son emploi.

UTILISATION D'UN PONT WHEASTONE

Dans l'un des bras d'un pont de Wheatstone est branché l'élément thermosensible (thermocouple, thermistance, etc.) de résistance R_1 (fig. 12). Une alimentation est connectée entre A et B et un détecteur entre C et D. Si la relation $R_1 R_4 = R_3 R_2$ est réalisée, le pont est en équilibre, c'est-à-dire que la tension entre C et D est nulle.

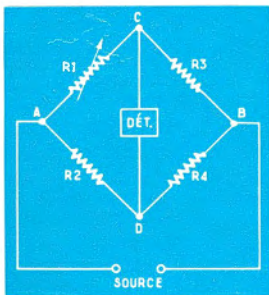


Fig. 12. - Pont Wheatstone utilisé pour mesurer la variation de résistance de R_1 , représentant le thermocouple ou la thermistance. Pour un élément donné l'appareil de mesure peut être étalonné en degré centigrade.

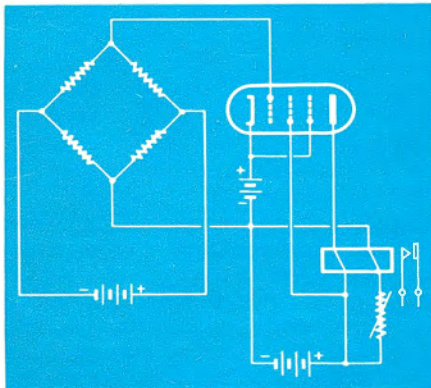


Fig. 13. - Tube électronique associé à un pont de Wheatstone pour commander un relais destiné à assurer une régulation de température en fonction de la tension de déséquilibre du pont.

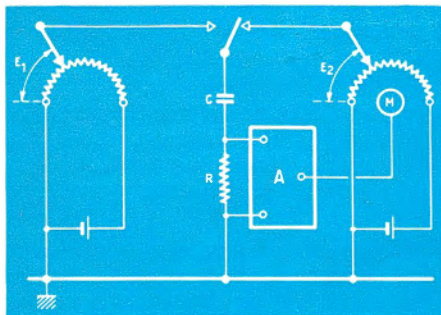


Fig. 14. - Schéma de principe des régulateurs à action proportionnelle P.A.T. (MECI).
A Amplificateur M Servomécanisme

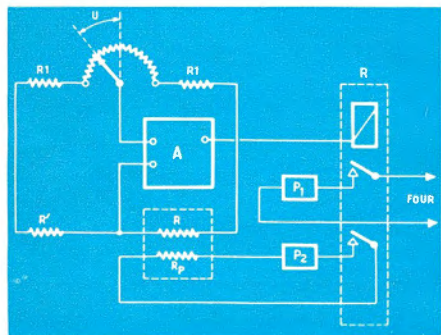


Fig. 15. - Schéma du régulateur à action proportionnelle "DAT" de la Société Meci.
A Amplificateur P2 Chauffage de R_p
P1 Chauffage du four R Relais électromagnétique

Mais la résistance de l'élément thermosensible R_1 étant fonction de la température, l'équilibre est rompu si celle-ci vient à varier. Le signe de la tension de déséquilibre (tension d'erreur) qui apparaît entre C et D renseigne sur le sens de la variation de température et cette tension déclenche le système de correction à relais en modifiant la polarisation de la grille d'un tube électronique à vide ou à gaz dans le circuit anodique duquel est inséré un relais commandant le circuit de chauffage (fig. 13).

RÉGULATEURS ASSOCIÉS A UN PYROMÈTRE

Des régulateurs de température peuvent être réalisés à l'aide de potentiomètres ou de ponts de Wheatstone dans lesquels l'équilibre est établi automatiquement par rotation d'une résistance calibrée circulaire.

Dans les réglages par tout ou rien, cette rotation entraîne celle de cames qui ferment des contacts lorsque la température s'écarte d'une valeur donnée.

La figure 14 montre un schéma de régulateur à action proportionnelle. Les tensions électriques E_1 et E_2 aux bornes des curseurs se déplaçant sur les fils calibrés, l'un étant entraîné par l'appareil de mesure et l'autre par un servo-mécanisme pouvant tourner dans les deux sens, sont appliquées alternativement à un circuit résistance-capacité à l'aide d'un vibreur synchrone.

Si $E_1 = E_2$ il n'y a aucune modification de la charge de C, donc aucun courant dans R.

Si $E_1 > E_2$ le condensateur se charge et se décharge d'où existence d'une tension alternative aux bornes de R.

Si $E_1 < E_2$ le phénomène est identique, mais la tension alternative a sa phase décalée d'une demi-période. La tension est alors envoyée à un amplificateur électronique sensible à la phase de la tension. Le signal de sortie fait tourner dans le sens désiré le servomoteur entraînant le curseur lui-même solidaire de l'organe de réglage.

Il existe un autre système qui permet également une régulation à action proportionnelle en agissant non plus sur un servo-mécanisme, mais sur un relais électromagnétique (fig. 15). Dans ce cas les résistances R et R_1 ainsi que le potentiomètre lié à l'appareil de mesure constituent un pont de Wheatstone. Une tension de déséquilibre peut prendre naissance pour deux raisons :

1) Le curseur du potentiomètre introduit dans la diagonale du pont une tension U proportionnelle à l'écart entre la position du curseur et sa position médiane qui correspond à la température désirée du four.

2) L'élévation de la température de la résistance R au moyen de la résistance chauffante R_p introduit une tension de déséquilibre E.

Cette tension d'erreur, après amplification, attaque un relais électromagnétique qui bascule dès que le déséquilibre du pont atteint les valeurs $\pm \Delta V$. Les contacts de ce relais servent à couper ou à établir simultanément le chauffage du four et de la résistance R. Les contacts d'alimentation des résistances chauffantes du four et de R_p fonctionnant ensemble, on voit que la température de la résistance R oscille autour d'une valeur moyenne, image de celle du four. La tension de déséquilibre E étant proportionnelle à la variation de la résistance R qui est elle-même proportionnelle à l'élévation de température, oscille aussi autour d'une valeur moyenne. Par suite le relais règle la température de R par « tout ou rien » autour de la position d'équilibre et le régime de battement qui est ainsi imposé correspond pour le four à un effet de régulation proportionnelle du fait de son inertie thermique.



Fig. 16. - Régulateur à cellule photo-électrique de la Pyrométrie Industrielle.

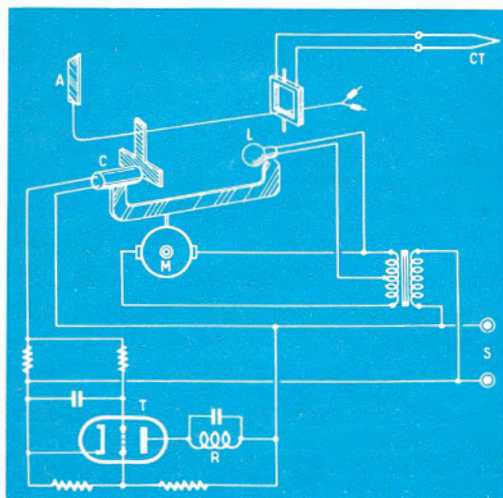


Fig. 17. - Schéma de principe du régulateur à cellule photo-électrique de la Pyrométrie Industrielle.

- A Aiguille indicatrice
- C Cellule
- CT Couple thermo-électrique
- L Lampe
- M Moteur
- R Relais
- S Secteur
- T Thyatron

L'avantage de ce système est d'éliminer toutes les variations venant de la tension du secteur en utilisant la même source pour le chauffage du four et pour R_p .

Ces systèmes sont couramment employés pour des régulations de température comme par exemple pour maintenir la température d'une cuve chauffée à l'aide de brûleurs, pour régler la température des bains de décapage ainsi que celle des fours, etc.

RÉGULATEUR A CELLULE PHOTO-ÉLECTRIQUE

Dans ce cas l'appareil indicateur du pyromètre est un galvanomètre dont l'aiguille indicatrice porte un obturateur dont le rôle est de couper un faisceau lumineux qui éclaire une cellule photo-électrique. Les régulateurs de la "Pyrométrie Industrielle" (fig. 16) basés sur ce principe comportent une cellule commandant, par l'intermédiaire d'un thyatron, un relais intérieur à l'appareil. Ce relais actionne ensuite l'organe de réglage (contacteur ou électrovanne) assurant la régulation de température. Si la température augmente ou diminue l'aiguille se déplace vers la droite ou vers la gauche et l'obturateur ne coupe plus le faisceau lumineux; par suite le thyatron fait basculer le relais. On obtient ainsi une régulation par « tout ou rien ».

La figure 17 montre que l'ensemble optique comprenant la cellule et la lampe d'éclairage est monté sur un bras mobile mû par un micro-moteur lui communiquant un mouvement latéral d'oscillations à vitesse constante. La plage d'oscillations est réglable en amplitude et en position. De cette façon on obtient une régulation à action proportionnelle : en effet tant que l'aiguille indicatrice est en dessous de la zone balayée par l'ensemble optique la cellule est éclairée en permanence et le système de chauffe est à son maximum. Dès que l'aiguille pénètre dans cette zone, la cellule est obturée périodiquement et d'autant plus longtemps que la grandeur contrôlée est plus élevée. Durant les obturations, le système de chauffage est coupé et le reste lorsque l'aiguille dépasse l'extrémité de la zone d'action proportionnelle, car alors, la cellule est obturée en permanence. Ce procédé a ainsi l'avantage de passer très simplement de la régulation discontinue à la régulation proportionnelle par l'arrêt ou la mise en marche du micromoteur faisant osciller le système optique.

La mesure et la régulation des températures sont facilement réalisables par voie électronique. La rapidité, la précision des mesures et des réglages, et la gamme d'utilisation des équipements électroniques sont incomparablement supérieures à celles que permettent des dispositifs mécaniques.

La plupart des constructeurs d'appareils de mesures de température réalisent actuellement des équipements de mesure et de régulation donnant toute satisfaction. Les progrès considérables apportés dans la fabrication des tubes électroniques, progrès concrétisés par la réalisation des tubes « Cinq Etoiles », permettent de garantir un fonctionnement sûr et sans aléas exigé des équipements industriels.

LISTE DE QUELQUES CONSTRUCTEURS D'APPAREILS DE MESURE DE RÉGULATION DE TEMPÉRATURE

MECI, 123, boulevard de Grenelle, Paris (15°)
 LA PYROMETRIE INDUSTRIELLE, 84, boulevard Saint-Michel, Paris (6°)
 SOCIÉTÉ D'APPLICATIONS PHOTO-ÉLECTRIQUES
 12 ter, avenue Joffre, La Garenne (Seine)
 Contrôle Bailey, 3, rue Castex, Paris

LAMPE MAZDA

COMPAGNIE DES LAMPES
 SOCIÉTÉ ANONYME AU CAPITAL DE 13 680 000 N.F.
 DÉPARTEMENT TUBES ÉLECTRONIQUES
 29, RUE DE LISBONNE - PARIS (VIII°)

Tél. : LAB. 72-60 à 68 • Adr. Tél. MAZDALAMP-PARIS • R.C. Seine 54 B 5088