

Les détecteurs pyroélectriques

par L. LE VERDIER (*)

Un détecteur pyroélectrique est un détecteur thermique. La radiation incidente est absorbée par l'élément détecteur. Il en résulte une augmentation de température que l'on mesure avec un « thermomètre » très sensible, le cristal pyroélectrique. On peut arriver à mesurer des différences de température de 10^{-1} degrés.

En conséquence, un détecteur pyroélectrique est sensible à presque toutes les radiations ; il est relativement lent et il est sensible aux changements de température ambiante.

Si on les compare aux autres types de détecteurs thermiques (thermistors, thermocouples ou thermophiles), les détecteurs pyroélectriques donnent des signaux de sortie supérieurs de quatre ordres de grandeur. Ils sont donc bien plus faciles d'emploi.

Un détecteur pyroélectrique se présente sous la forme d'un boîtier type TO5 et se compose de plusieurs éléments :

- 1) Un élément photosensible (tantalate de lithium, ou céramique) qui fournit une énergie électrique à chaque changement minime de température.
- 2) Une résistance de forte valeur ohmique et un amplificateur hybridé dans le boîtier. Leur rôle est de fournir en sortie du détecteur un signal directement exploitable par une électronique simple.
- 3) Un filtre optique intégré en façade du détecteur, qui permet de cerner l'application (HP7 pour une détection humaine, BP4-35 pour du CO ou CO₂, etc.).

Le filtre optique

Les détecteurs pyroélectriques étant sensibles aux radiations de-

(*) Chef du département télécommunication et optique de ISC France.

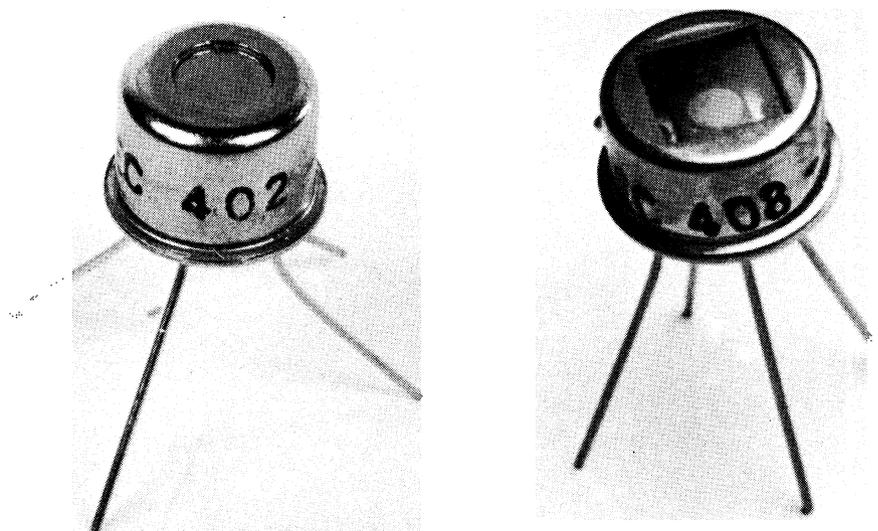
puis les rayons X jusqu'à l'infrarouge lointain, il est nécessaire dans la plupart des applications d'utiliser un filtre optique réduisant le champ d'observation. Cet inconvénient est la rançon de l'avantage de pouvoir utiliser le même détecteur sur toute la gamme alors que les détecteurs au silicium ou au PbS sont considérablement plus sélectifs.

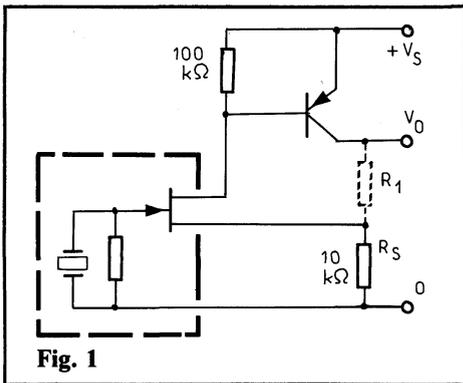
Les fenêtres et filtres les plus courants sont : le germanium, le germanium traité à $10,6 \mu$, le silicium, le béryllium pour les rayons X.

De plus, tous les détecteurs peuvent être livrés avec des filtres optiques de faible largeur de bande afin d'adapter la détection à des spectres moléculaires plus ou moins étroits en fonction de l'application prévue (analyse de gaz, mesure d'humidité, détection de flammes...)

Pour commencer les premières études, il est conseillé d'utiliser une fenêtre en germanium standard ou traité à $10,6 \mu$ et de placer un filtre optique devant le détecteur. On a ainsi plus de souplesse dans la mise en œuvre. Bien entendu, il est tou-

Deux modèles de détecteurs pyro-électriques





jours possible de monter le filtre sur le détecteur, même pour des prototypes ou de petites séries.

Réponse en fréquence

Dans la plupart des applications, les fréquences utilisées vont de 0,1 à 10 Hz. Avec certains détecteurs de la gamme, on peut toutefois aller jusqu'à 5 kHz. En tout état de cause, il faut choisir avec soin les résistances et condensateurs définissant la fréquence. Il faut faire attention au fait qu'un circuit ou un détecteur fonctionnant à 0,1 Hz a besoin de quelques minutes pour avoir un fonctionnement régulier. Sur l'oscilloscope, les signaux doivent être assimilés à du continu et non à de l'alternatif.

Résistance de charge

Tous les détecteurs sont équipés d'un adaptateur d'impédance intégré ; toutefois, le gain du transistor à effet de champ et par conséquent la réponse et le bruit sont définis par la résistance de charge externe. Pour avoir une bonne réponse et un faible bruit, on recommande une résistance d'au moins 1 MΩ. Toutefois, dans certaines applications, on peut sacrifier le gain et utiliser une résistance allant jusqu'à 10 kΩ pour s'adapter aux étages d'amplification et pour avoir une bonne immunité aux bruits RF. Dans tous les cas, la dissipation du TEC intégré ne doit pas dépasser 1 mW pour éviter la création de turbulences thermiques à l'intérieur du détecteur, ce qui entraîne un bruit de basse fréquence.

Le circuit de la figure 1 a un gain de un et une très faible impédance de sortie. Il est recommandé pour obtenir les résultats optimaux. Pour réduire le bruit basse fréquence au minimum, il est conseillé d'utiliser un transistor passivé au nitrure et des résistances à couche métal.

Nota : le gain est $G = \frac{R_1 + R_s}{R_s}$

donc si $G = 1, R_1 = 0$; pour avoir une bonne stabilité, on déconseille d'augmenter le gain au-dessus de :

$$G_{max} = \frac{V_s}{2V}$$

Le détecteur comporte un amplificateur intégré similaire au 741. Il n'a donc pas besoin de résistance de charge. La tension continue de sortie est définie par une référence interne de 2 à 4 V. Le 408 a une réponse très supérieure à celle des autres modèles et on peut parfois l'utiliser sans autre amplificateur. Il faut toutefois réaliser que c'est un gain en continu et que l'amplificateur sera plus rapidement saturé qu'avec un 406 avec un amplificateur de bande s'il y a des changements de température ou des signaux élevés.

Alimentation

L'alimentation des détecteurs doit être comprise entre 5 et 15 V. Elle doit être très stable. On rappelle que les réseaux RC ne sont pas efficaces aux fréquences inférieures à 1 Hz, et qu'il faut donc utiliser des régulateurs actifs. L'utilisation de piles ou de batteries permet de négliger cette difficulté. Le taux de réjection de l'alimentation des détecteurs est égal environ à 5 (14 dB).

Amplificateur

Le détecteur étant utilisé sur une bande spectrale, on utilise toujours un amplificateur de bande soigneusement adapté afin de limiter le bruit. L'amplificateur sera suivi d'un circuit de commande de lecture ou d'un détecteur de phase si l'on se sert d'un chopper optique.

On obtiendra des performances optimales si l'on utilise des amplifica-

teurs de qualité tels que le OPO5 de PMI ou le 3522 de Burr-Brown, qui sont spécifiés en bruit à 1 Hz. En se servant de résistances à couche métal et de condensateurs au tantale gélifié, en ayant des circuits d'alimentation et de références de tension très soignées, on n'ajoutera pas de bruit de manière significative au bruit propre du détecteur. Toutefois, dans de nombreuses applications industrielles, des amplificateurs standards tels que le $\mu A741$ ou le LM324 se sont avérés tout à fait satisfaisants. Le schéma de la figure 2 est un exemple type de l'utilisation d'un tel circuit.

Isolement thermique

Les détecteurs étant très sensibles aux changements rapides de température, il peut être nécessaire soit de les stabiliser à l'aide d'une pompe thermique, soit de les isoler thermiquement. L'isolation peut être obtenue à l'aide de matière plastique comme indiqué à la figure ci-dessous.

Il existe une autre méthode qui consiste à compenser la dérive thermique en utilisant un second détecteur monté en tête-bêche et dont la fenêtre a été opacifiée. On peut aller une étape plus loin et c'est ce qu'a fait Eltec sur le modèle 410 en montant deux puces de tantalate de lithium dont l'une a été masquée. Lorsque aucun rayonnement n'est reçu par le détecteur, aucun signal n'apparaît à la sortie du détecteur quelle qu'en soit la température puisque le signal émis par chaque puce est en opposition par rapport à l'autre. Si un rayonnement est reçu, le signal de sortie sera épuré de toute influence de la température du détecteur.

Le détecteur, modèle 410, a une surface sensible de $0,8 \times 16 \text{ mm}$; il est

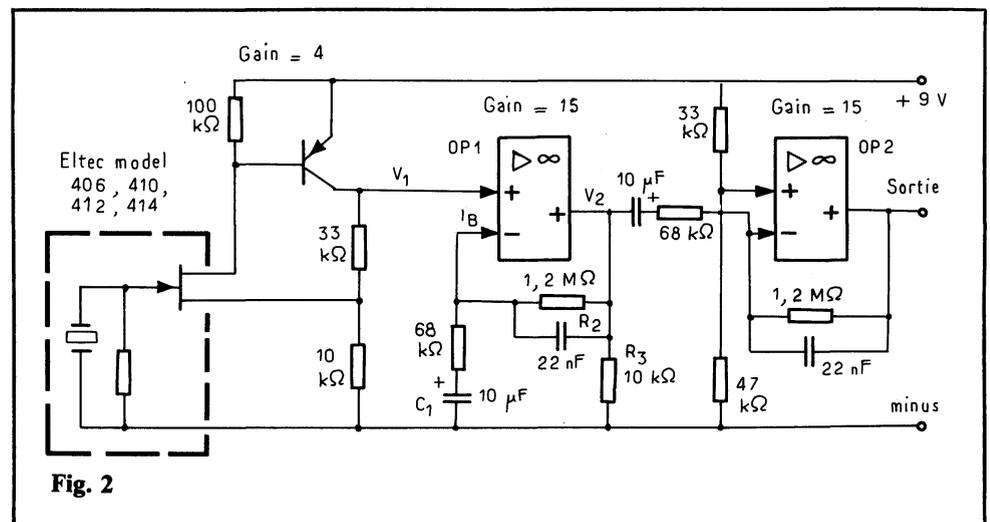


Fig. 2

monté en boîtier T 05 hermétique avec fenêtre en germanium, silicium, béryllium... Le signal de sortie est un signal basse impédance dont la réponse est de 1 200 V/W.

Les modèles 410, 412 et 414 sont compensés en température mais même dans ce cas, le problème ne doit pas être sous-évalué.

On ne doit placer aucun composant dissipant de la chaleur à proximité du détecteur ou dans son champ de vision. Le détecteur lui-même ne doit pas risquer d'être soumis à des courants d'air. En fait, l'environnement thermique du détecteur ne pourra être défini que cas par cas au cours d'expériences pratiques.

Manutention et montage

Bien que le transistor utilisé soit un TEC, il est recommandé de considérer les détecteurs comme des MOS et de les protéger des charges électrostatiques.

La plupart des filtres infrarouges sont très sensibles aux chocs thermiques. Le détecteur lui-même peut fonctionner de -55°C à $+125^{\circ}\text{C}$ mais il est recommandé de ne pas faire subir au filtre de variation de température supérieure à 5°C par minute.

Bien entendu, les contraintes mécaniques sur le boîtier ou sur les connexions doivent être maintenues au minimum.

Lors du montage, il faut prendre le maximum de précautions pour éviter les chocs thermiques : soudure à la main plutôt qu'à la vague, au moins 6 mn de connexion, si possible mettre un radiateur pendant le soudage sur les connexions ou le boîtier.

Conclusion

Le bruit n'est pas créé par le détecteur et son circuit interne mais aussi par : les courants d'air chauds ou froids sur le boîtier ; les interférences RF et l'alimentation ; l'amplificateur et ses composants annexes (le courant de fuite d'un condensateur a une composante à basse fréquence) ; les contacts mécaniques et les soudures mal faites.

Si les signaux détectés sont inférieurs à 1 mV sur les modèles 406, 410, 412 et 414 ou à 20 mV sur le 408, ces sources de bruit doivent être vérifiées une par une et atténuées éventuellement. Le bruit à 0,1 Hz peut être totalement différent de la spécification à 1 kHz.

Applications

Détection humaine

Un détecteur muni d'une fenêtre HP7 pour éliminer les rayonnements parasites est associé à un dispositif optique (miroir à facettes ou lentilles de Fresnel) et à une électronique simple.

Le rôle de l'optique est de multiplier le nombre d'informations électriques en sortie du détecteur pour un seul passage dans le champ du détecteur.

Le rôle de l'électronique est de filtrer, d'amplifier et de traiter l'information. On obtient alors un détecteur humain simple, sous faible encombrement et dont la seule source est la personne à détecter.

Comptage

Sur un convoyeur, on peut utiliser des microswitch (mais c'est peu fiable et cela se détériore facilement), des détecteurs de proximité (mais c'est cher), des barrières lumineuses (mais c'est aussi cher et mal commode à mettre en œuvre puisque la source et la cellule sont de chaque côté de la bande). Avec un détecteur pyroélectrique, on détectera la minima différence de température entre l'objet à compter et son environnement. L'impulsion obtenue amplifiée sera transmise à un compteur. Si on est curieux, on peut même connaître la température de l'objet, ce qui suggère d'autres applications supplémentaires comme par exemple de contrôler le niveau du contenu s'il s'agit de bouteilles.

Tri sans contact

Avec une source et une cellule, on ne peut se servir que de la couleur et de la dimension pour trier des pièces défilant sur un convoyeur. Les détecteurs pyroélectriques ajoutent une nouvelle dimension : la température. Les objets émettent plus ou moins d'infrarouge selon la nature de leur matériau constitutif. En combinant la couleur, la température et la dimension, on pourra obtenir de nouvelles possibilités de tri tout en pouvant s'affranchir de la source de lumière.

Mesure de surface

Un objet de grande dimension dégage plus d'énergie infrarouge qu'un objet de petite dimension. A l'aide de deux détecteurs et d'une électronique assez simple, on aura une mesure très précise. L'un des deux détecteurs a un faisceau très fin correspondant à l'unité de surface, l'autre a un faisceau large re-

couvrant l'objet à mesurer. Le rapport des deux flux donne la mesure.

Analyse de gaz

Les différents gaz absorbent la lumière infrarouge de différentes longueurs d'onde (le CO_2 par exemple est très absorbant à $4,26 \mu$). A l'aide d'un filtre optique, on aura donc avec les détecteurs un moyen simple et bon marché de détecter la présence d'un gaz donné et même d'en mesurer la teneur si l'on peut disposer d'une éprouvette de référence.

Mesure de température

De nombreux procédés industriels nécessitent un contrôle constant et précis de la température de certaines opérations. La sensibilité des détecteurs ainsi que leur plage d'utilisation en font des outils particulièrement appréciés puisqu'ils n'ont pas les défauts des autres types de senseurs à contact (hystérésis, pente non réglable....)

Alarme

Que ce soit en alarme incendie ou en détection d'intrusion, la sensibilité spécifique des détecteurs ainsi que leur très faible consommation les rendent très attrayants. Les senseurs sont si sensibles qu'ils peuvent détecter un corps humain jusqu'à 50 m de distance avec un faisceau passif très directif.

Outre la reproductibilité remarquable des résultats d'un détecteur à un autre, on peut remarquer que le prix du tantalate de lithium rend les détecteurs pyroélectriques extrêmement compétitifs par rapport aux détecteurs au silicium séléniure de plomb et germanium.

Les spécialistes savent que le tantalate de lithium présente l'inconvénient d'avoir une très forte impédance. Les compétences technologiques de *Eltec* dans le domaine des couches minces et des résistances de très forte valeur ohmique ont permis de développer une gamme complète de détecteurs directement utilisables. Les modèles 400 et 420 ne contiennent que l'élément sensible ; la résistance de $5 \times 10^{11} \Omega$ incorporée dans le modèle 402 permet le montage extérieur d'un amplificateur de courant ou de tension. Dans les modèles 404, ces amplificateurs ont été incorporés. Dans la série 406, c'est le convertisseur d'impédance complet qui est intégré. Quant au 408, il comporte un amplificateur opérationnel intégré assurant une réponse en tension à 10 Hz de 100 000 V/W.

L.L.V.