

Les techniques de détection de gaz à l'aide de capteurs pyroélectriques

Par Mark Patrick, Mouser Electronics, et Derick Stevens, KEMET

La détection de gaz est un aspect essentiel de nombreuses applications industrielles et commerciales. Nos maisons sont toutes dotées de détecteurs d'incendie pour nous protéger notamment de la fumée et du monoxyde de carbone, mais ces dispositifs de détection sont capables de déceler la présence éventuelle de nombreux gaz, dont le dioxyde de carbone, le dioxyde d'azote et plusieurs gaz anesthésiques. On les utilise dans diverses applications : à des fins médicales par exemple, comme pour la capnographie (la mesure de la concentration de CO₂ expiré), pour mesurer la qualité de l'air dans les bâtiments intelligents ou encore dans les analyseurs/détecteurs de gaz portatifs disponibles dans le commerce.

Le présent article est consacré à la détection de gaz à l'aide de capteurs pyroélectriques. Nous verrons d'abord pourquoi cette méthode est préférable à l'utilisation d'une thermopile. En effet, les techniques de détection basées sur une thermopile présentent plusieurs inconvénients, dont une longue période de stabilisation, un long temps de réponse et une sensibilité aux variations environnementales trop élevée. Nous nous pencherons ensuite plus particulièrement sur la mesure infrarouge pour illustrer les principes de la détection de gaz et verrons quels sont les avantages de cette approche. Nous concluons cet article par la présentation d'un système de détection complet doté de capteurs I2C connectés à un microcontrôleur hôte.

La détection de gaz est omniprésente : à la maison, les détecteurs de fumée et de monoxyde de carbone assurent la sécurité des occupants ; dans les bureaux modernes, des capteurs surveillent les concentrations de dioxyde de carbone afin de garantir la qualité de l'air ; dans les usines, des détecteurs de différents types de gaz sont utilisés pour assurer le contrôle et la sécurité des processus. De nouvelles applications de sécurité font aussi leur apparition, comme la surveillance des émissions de gaz des cellules des batteries de véhicules électriques, car une cellule qui génère du gaz est un signe avant-coureur d'une surcharge ou d'un dysfonctionnement de la batterie, avant même tout changement de température. On retrouve des capteurs de gaz jusque dans les hôpitaux et établissements de santé, où ils équipent du matériel médical ou de diagnostic, notamment pour la capnographie. Il s'agit d'un examen qui permet de dresser un bilan général de la ventilation et du métabolisme du patient. Il est réalisé à l'aide d'un capnographe, un instrument de mesure portatif, alimenté par batterie, qui sert donc à mesurer la concentration de dioxyde de carbone expirée par un patient. Très utilisés par les services d'urgence et d'intervention, les capnographes doivent être capables d'effectuer des mesures rapides et précises.

Les méthodes de détection de gaz

Un détecteur de gaz consiste en un capteur exposé à des rayons infrarouges (IR). Selon leur type, les gaz absorbent certaines longueurs d'onde du rayonnement infrarouge. Grâce à ce principe, il est possible de différencier les gaz détectés en fonction des changements d'énergie qui s'y produisent. Les molécules de gaz absorbent l'énergie de la source IR et se déplacent plus rapidement, ce qui produit de la chaleur. Un gaz particulier présent en plus forte concentration absorbe donc aussi plus d'énergie infrarouge.

Les capteurs à thermopile sont traditionnellement utilisés dans les équipements de détection de gaz tels que les capnographes. Ils sont dotés d'un thermocouple pour détecter les changements de température dans les molécules de gaz et générer une sortie de tension proportionnelle à la concentration du gaz détectée.

Cependant, les capteurs à thermopile requièrent un certain temps de stabilisation. Il peut s'écouler jusqu'à deux minutes entre le moment où l'appareil est mis sous tension et celui où le capteur est suffisamment stable pour réaliser une mesure. Par ailleurs, une mesure peut prendre jusqu'à 200 ms.

Si ce délai ne paraît pas exceptionnellement long, il faut toutefois tenir compte du fait que la durée d'utilisation du capteur a une incidence directe sur la consommation d'énergie et par conséquent, dans le cas d'un appareil alimenté par batterie, sur la fréquence de remplacement de la batterie ou sur les cycles de rechargement. En outre, les thermopiles nécessitent des circuits analogiques supplémentaires pour fonctionner, ce qui rallonge la durée de développement et augmente les coûts de nomenclature.

Une autre méthode de détection de gaz s'appuie sur le principe de la pyroélectricité, où une tension de sortie est créée lorsque le capteur détecte un changement d'intensité du rayonnement infrarouge.

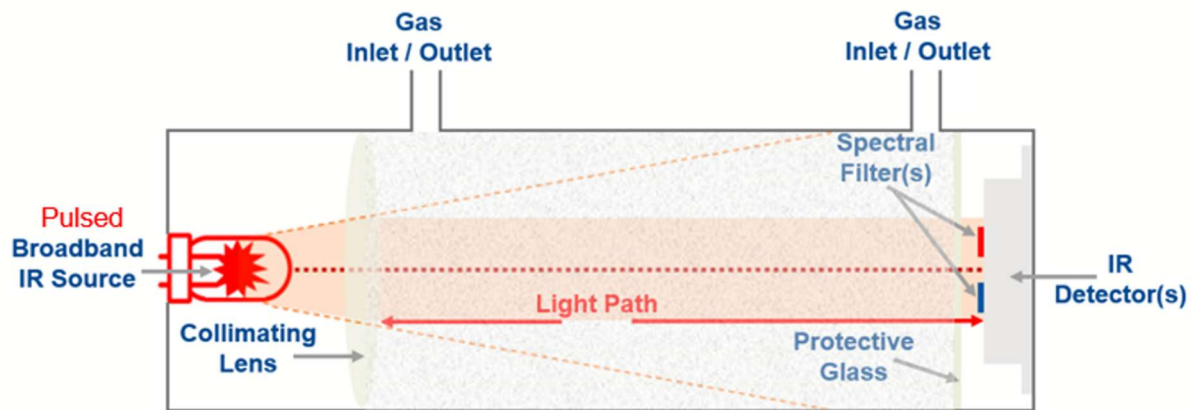


Figure 1 – Les principaux composants d'un capteur de gaz pyroélectrique. (Source : KEMET)

La figure 1 illustre un capteur de gaz pyroélectrique fonctionnant dans le spectre du proche infrarouge. Une source d'énergie lumineuse IR est dirigée vers des capteurs à travers une chambre fermée et des filtres spectraux isolent le spectre optique pour identifier le gaz détecté et fournir un canal de référence. La différence entre la quantité d'énergie IR émise par la source par rapport à la quantité reçue par le capteur permet de calculer la concentration du gaz. Ce dispositif utilise deux détecteurs IR : l'un détecte le gaz spécifique et l'autre émet le signal de référence qui permettra de déterminer la quantité d'énergie.

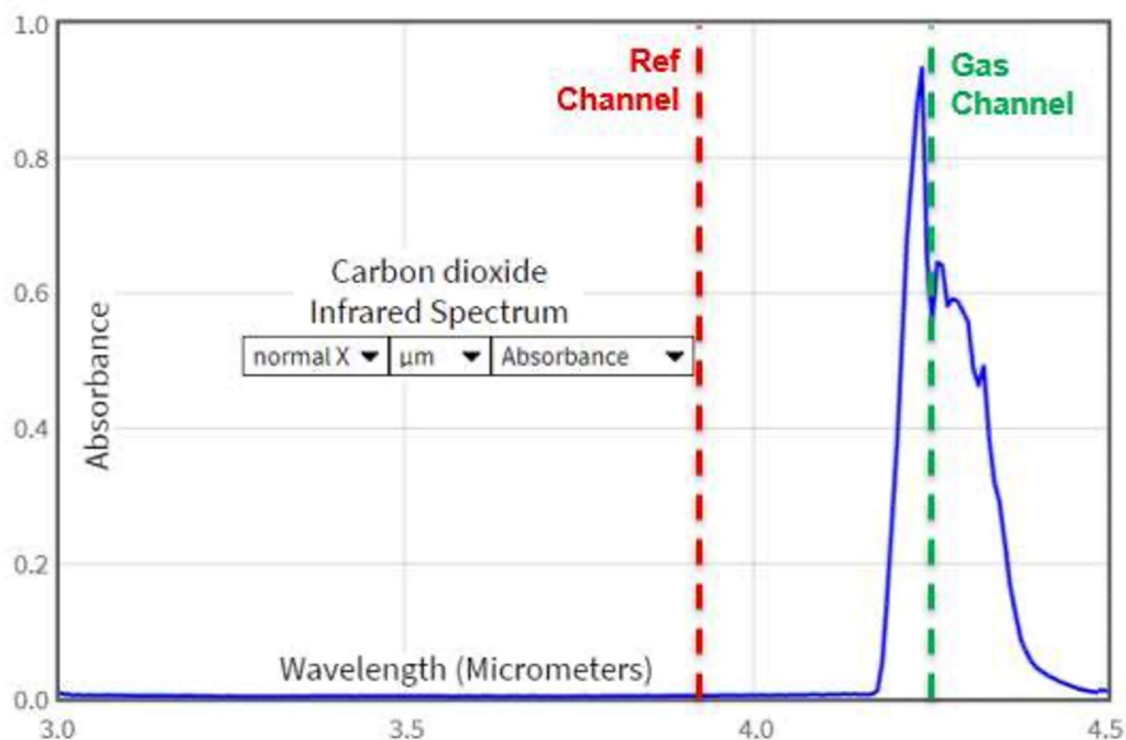


Figure 2 – Exemple de capteur de CO2 pour éthylomètre. (Source : KEMET)

Comme illustré à la figure 2, une des applications possibles des capteurs pyroélectriques est l'éthylomètre. Une source de chaleur infrarouge pulsée transmet l'énergie infrarouge à travers un tube à gaz et des fenêtres de transmission à deux capteurs pyroélectriques. Un capteur délivre un signal de canal de référence à une longueur d'onde de 3,9 μm et le second capteur détecte la longueur d'onde du CO2 de 4,26 μm .

La conception d'un système de détection de CO2 à l'aide d'un capteur pyroélectrique

Le capteur KEMET USEQGSEAC82180 est un bon exemple de détecteur de CO2. Livrés dans un boîtier compact pour montage en surface et dotés d'une interface numérique en couche mince, les capteurs pyroélectriques de la série QGS de KEMET se caractérisent par leur faible consommation électrique. Ils sont capables d'effectuer des mesures de gaz 15 fois plus rapidement qu'un détecteur à thermopile. Grâce à la faible masse thermique du matériau piézoélectrique (PZT) dont ils sont composés, ils peuvent réaliser des mesures extrêmement rapidement avec une initialisation quasi instantanée. De plus, les capteurs PZT ont une durée de vie plus longue que les thermopiles avec leurs thermocouples et, contrairement à ces derniers, ils ne nécessitent aucun circuit analogique supplémentaire. L'interface numérique I2C fournit un mode de connexion simple et pratique au microcontrôleur hôte. Les capteurs de la série QGS embarquent également un ASIC programmable connecté par l'interface I2C qui permet de contrôler et configurer entièrement les filtres analogiques, le gain de l'amplificateur et les paramètres de conversion analogique-numérique.

Par rapport à la méthode thermopile, la méthode de détection de gaz développée par KEMET à l'aide de capteurs piézoélectriques hautement sensibles et à temps de réponse rapide affiche une faible consommation d'énergie, ce qui contribue à prolonger la durée de vie de la batterie et du produit tout en réduisant les coûts de maintenance.

Les capteurs de la famille QGS proposent deux modes de fonctionnement : un mode normal avec une fréquence d'échantillonnage maximale de 1 kHz et un mode basse consommation avec une fréquence d'échantillonnage maximale de 166 Hz. Ainsi, la consommation électrique moyenne est de 22 μA en mode normal et de 3,5 μA en mode basse consommation. Enfin, le mode hors tension désactive le capteur et réduit le courant à 1,1 μA .

Le fait d'intégrer tous les composants clés de la chaîne de signaux analogiques dans un seul boîtier, associé à l'utilisation d'une interface I2C standard, simplifie considérablement la construction d'un capteur de CO2 à faible consommation d'énergie qui puisse être utilisé dans un capnographe alimenté par batterie.

Les relevés des capteurs sont stockés dans plusieurs registres accessibles via l'interface I2C.

L'ensemble du processus de mesure et de conditionnement du signal est géré en interne par le capteur sans qu'il soit besoin de charger des ressources sur le microcontrôleur hôte.

Pour constituer un capnographe complet, il faudrait y adjoindre une source IR pulsée, une cellule à gaz avec une longueur de trajet définie (généralement entre 20 et 32 mm), un canal de capteur de référence et un capteur de gaz CO2. La source de lumière IR est généralement pulsée à une fréquence de 40 impulsions par seconde.

Le processus d'étalonnage s'appuie sur des algorithmes déterministes pour définir les rapports spécifiques entre les canaux de référence et de gaz. Ces rapports sont ensuite utilisés pour prédire avec précision les concentrations de gaz. La loi de Beer-Lambert est utilisée pour linéariser et déterminer avec précision la concentration de gaz en fonction des valeurs relevées par les capteurs et stockées dans les registres I2C.

La figure 3 montre les valeurs brutes du registre I2C relevées par un capteur de CO2 pour des concentrations de CO2 allant de 0 à 100 %. On remarquera que cette courbe n'est pas linéaire. C'est pourquoi KEMET fournit une note d'application et une feuille de calcul Microsoft Excel qui vous aideront pour la linéarisation du capteur et la prédiction de la concentration de gaz.

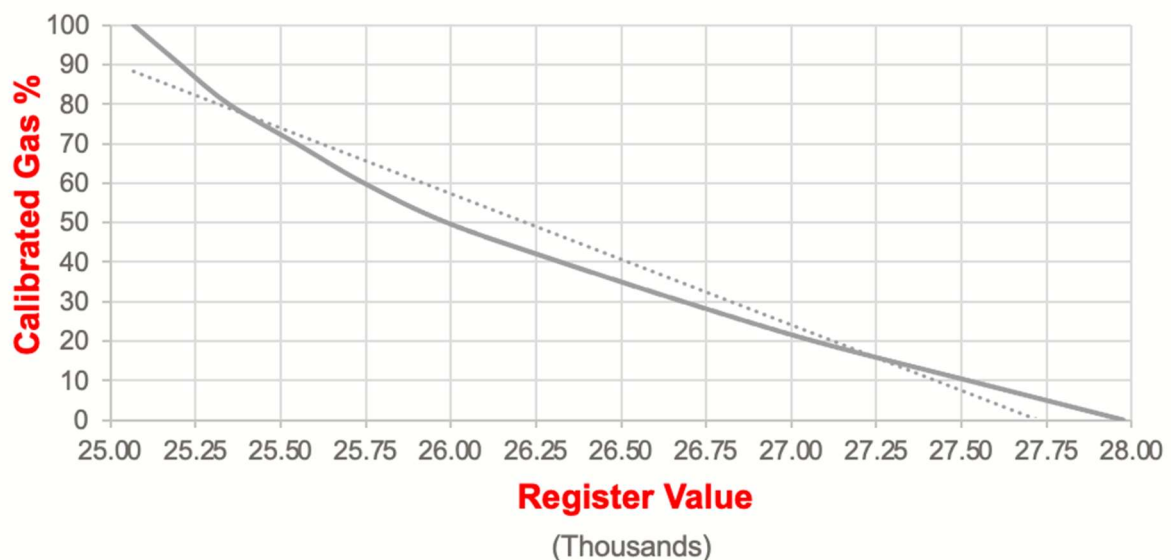


Figure 3 – Valeurs de mesure brutes du registre du capteur de CO2 à plusieurs niveaux de concentration de gaz. (Source : KEMET)

Accélérez le prototypage de systèmes de détection de gaz

Afin d'aider au développement d'un système de détection de gaz, KEMET propose le kit d'évaluation pour dispositif de détection de CO2 à montage en surface USEQGSK3000000 (voir figure 4). Ce kit inclut un système de mesure complet composé de deux capteurs KEMET : le capteur de référence USEQFSEA391180 et le capteur de CO2 USEQGSEAC82180.

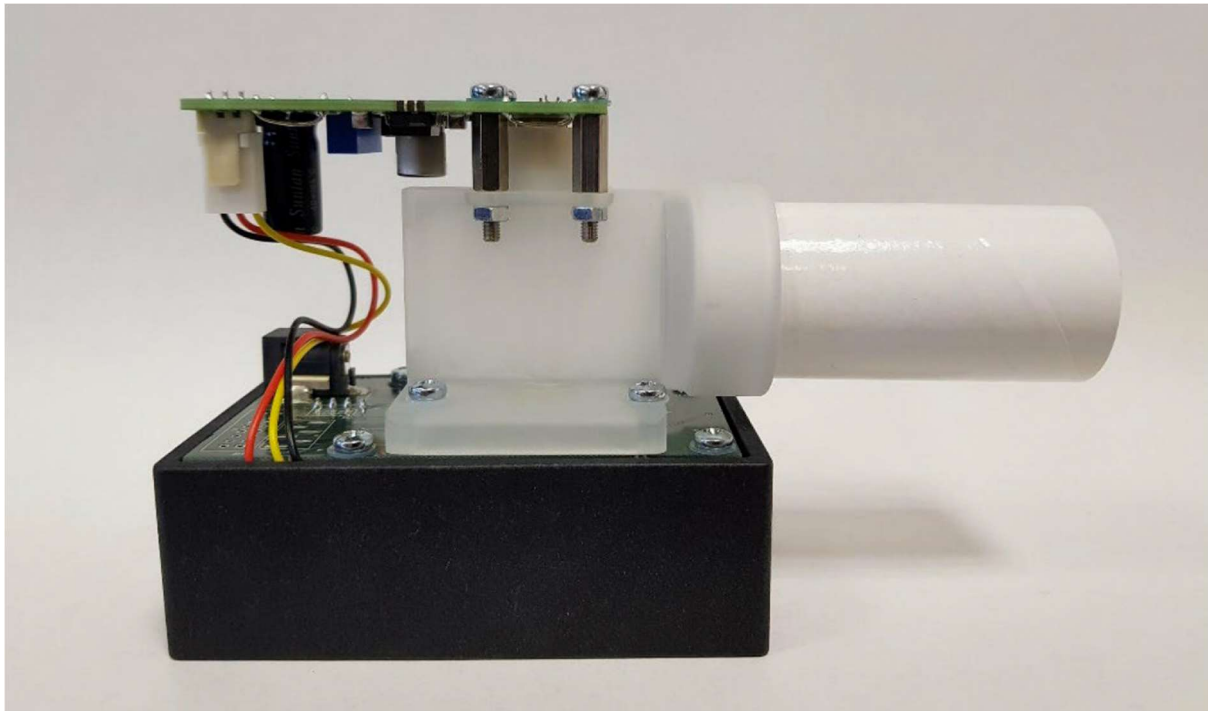


Figure 4 – Kit d'évaluation pour dispositif détection de CO₂ à montage en surface. (Source : KEMET)

Ce kit comprend en outre le microcontrôleur hôte STM32F303K8T6 de STMicroelectronics, une cellule à gaz imprimée en 3D ainsi qu'un émetteur IR et une carte d'excitation produits par KEMET. Il s'accompagne du système d'exploitation Microsoft Windows pour la configuration de la plateforme du capteur et la collecte et l'analyse des données.

Les capteurs de gaz pyroélectriques : le plus court chemin vers un système de détection de gaz intégré, rapide et à faible consommation d'énergie

Par rapport aux capteurs infrarouges à thermopile traditionnels, les capteurs pyroélectriques offrent de nombreux avantages lorsqu'ils sont utilisés dans des équipements de détection de gaz portatifs alimentés par batterie. Leur faible puissance, leur temps de stabilisation court et leur faible délai de détection sont autant d'atouts dans les mains des développeurs de produits pour créer des concepts plus sophistiqués. Nous l'avons illustré dans cet article avec un exemple d'utilisation à usage médical des capteurs de CO₂ infrarouges pyroélectriques non dispersifs de KEMET dans un capnographe, mais ils sont assez polyvalents pour être utilisés dans de nombreuses autres applications de mesure de la concentration de gaz entre 0 et 100 %.

www.mouser.com
