

Utiliser des capteurs MEMS pour la surveillance conditionnelle des infrastructures industrielles

Auteur : [Cosimo Carriero](#), ingénieur d'applications Analog Devices, Inc.

Les tablettes, les smartphones, les consoles de jeux vidéo, les caméscopes et autres appareils photo ont littéralement révolutionné le monde des capteurs, une catégorie de composants qui inclut les accéléromètres et les gyroscopes MEMS (microsystèmes électromécaniques). La capacité de ces circuits à mesurer les mouvements et les déplacements a dans une large mesure contribué à améliorer les performances, ainsi qu'à enrichir les fonctionnalités de nombreux appareils.

Mais si les applications électroniques grand public ont stimulé cette demande, l'utilisation de capteurs reçoit à son tour les faveurs d'autres marchés. Avec l'avènement de la numérisation et de l'Internet des objets (IoT), les capteurs jouent un rôle central dans les applications déployées dans des infrastructures industrielles. Dans ces environnements, les MEMS sont notamment utilisés pour la surveillance conditionnelle (CbM — *Condition-based Monitoring*) et la surveillance de l'état des structures. De plus, ces nouvelles applications sont souvent accompagnées de normes de performances et de fiabilité spécifiques.

Créer une infrastructure intelligente

L'utilisation de la numérisation pour créer une infrastructure intelligente apporte de multiples avantages, au rang desquels une augmentation des capacités, de l'efficacité et de la fiabilité. Les infrastructures intelligentes permettent de fournir des services innovants et mieux ciblés aux clients et aux utilisateurs et ce, sans augmenter les investissements ni étoffer les ressources. En outre, une infrastructure connectée permet de recueillir des données qui seront exploitées pour concevoir et mettre en œuvre de nouvelles infrastructures avec une efficacité accrue et contribueront à relever le défi majeur que constitue leur maintenance. En effet, les capteurs MEMS jouent un rôle primordial dans la surveillance de l'état de santé des structures : ils peuvent être utilisés pour mesurer la variation d'une inclinaison, procéder à des analyses vibratoires et suivre des mouvements linéaires ou circulaires, même dans des conditions opérationnelles extrêmes. Par ailleurs, ces capteurs peuvent être associés à des applications de maintenance prédictive, avec à la clé une utilisation optimale des ressources disponibles tout en évitant de nombreuses pannes et interruptions de service. Grâce aux importants investissements consacrés aux microsystèmes électromécaniques, Analog Devices dispose d'une expertise approfondie de cette technologie idéalement adaptée aux infrastructures intelligentes.

ADXL35x, une famille complète d'accéléromètres MEMS

Analog Devices a récemment annoncé une nouvelle famille d'accéléromètres triaxiaux à faible niveau de bruit et basse consommation déclinée en quatre références : l'[ADXL354](#) avec sortie analogique ; l'[ADXL355](#) avec sortie numérique et plages programmables de $\pm 2\text{ g}$, $\pm 4\text{ g}$ et $\pm 8\text{ g}$; l'[ADXL356](#) avec sortie analogique ; et l'[ADXL357](#) avec sortie numérique et plages programmables de $\pm 10\text{ g}$, $\pm 20\text{ g}$ et $\pm 40\text{ g}$.



Figure 1. Les nouveaux accéléromètres MEMS ADXL356 et ADXL357 d'Analog Devices

Ces capteurs opèrent dans une plage de mesure moyenne à étendue et peuvent être utilisés dans des centrales inertielles (IMU — *Inertial Measurement Units*), des systèmes de stabilisation de plateforme, des inclinomètres et des systèmes de maintenance prédictive. À ce titre, ils conviennent par conception à certaines des applications les plus exigeantes, telles que la cartographie sismique ou les systèmes de maintenance prédictive pour infrastructures et environnements industriels.

Des fonctions avancées dédiées à la surveillance de l'état des infrastructures

En ce qui concerne les applications de surveillance conditionnelle (CbM) et de surveillance de l'état des structures, la plage de mesure représente un paramètre majeur. À titre d'exemple, dans les applications où les pics d'accélération sont de l'ordre de quelques g , un capteur dont la plage de mesure est de $2\ g$ sera suffisant. Toutefois, ces composants sont souvent utilisés dans des environnements sujets à de fortes vibrations, ainsi qu'à des chocs pouvant conduire à la saturation du capteur — une situation qui empêche de mesurer l'accélération avec précision. Résultat, les données sont perdues jusqu'à ce que l'appareil puisse recouvrer un fonctionnement nominal. Dans ce cas, on utilisera un capteur de $40\ g$ sujet à des risques de saturation moins élevés. De plus, il sera possible d'extraire les informations requises avec un traitement du signal approprié, même en présence d'un bruit mécanique élevé.

Les capteurs utilisés dans le domaine de la surveillance d'infrastructures peuvent être installés dans des lieux reculés, voire inaccessibles, faisant des réseaux de capteurs sans fil une solution optimale. À cet égard, la faible consommation d'énergie est un élément clé dont il convient de tenir compte. Les produits de la famille ADXL35x consomment seulement $21\ \mu A$ en mode veille, $150\ \mu A$ pour les modèles à sortie analogique et $200\ \mu A$ pour les références à sortie numérique en mode mesure. La mémoire FIFO des composants ADXL355/ADXL357 stocke les données lorsque le microcontrôleur hôte est en mode veille. Une fois la mémoire remplie, une interruption réveille le microcontrôleur pour transférer les données et exécuter les actions demandées. Dès que le transfert est achevé, le microcontrôleur repasse en mode veille basse consommation, ce qui assure d'importantes économies d'énergie.

Dans la plupart des cas, une consommation d'énergie peu élevée est obtenue au détriment d'autres facteurs tels que la vitesse ou le bruit. Les accéléromètres de la série ADXL35x se caractérisent par une densité spectrale de bruit de $20\ \mu g/\sqrt{Hz}$ pour les circuits à faible g et de $80\ \mu g/\sqrt{Hz}$ pour les modèles à g élevé. De plus, l'architecture interne permet d'optimiser la sensibilité de l'accéléromètre. La Figure 2 représente le schéma fonctionnel des modèles analogiques et numériques (ADXL356 et ADXL357). Le signal transmis par le capteur traverse un bloc de filtrage avant d'être traité par les étages ultérieurs. Entre le filtre et la sortie se trouvent un tampon et une résistance de $32\ k\Omega$ où un filtrage analogique supplémentaire peut être effectué. Les versions numériques disposent d'un filtre numérique programmable additionnel. La fréquence de coupure du filtre passe-bas est ajustée par rapport au débit de

sortie des données ; il est également possible d'insérer un filtre passe-haut pour créer une fonction passe-bande. En ce qui concerne la surveillance conditionnelle (CbM), l'analyse spectrale des vibrations est le principal outil utilisé, de sorte qu'une bande passante élevée est indispensable pour capturer le maximum d'harmoniques. La fréquence de résonance mécanique du capteur est d'environ 5,5 kHz, mais la réponse en fréquence est principalement déterminée par les filtres anti-repliement dont la fréquence de coupure est de 1,5 kHz. Enfin, pour offrir la résolution souhaitée, une conversion analogique-numérique est réalisée avec des convertisseurs sigma-delta ($\Sigma\Delta$) 20 bits. Fort de ces caractéristiques, ces accéléromètres peuvent être mis à profit pour enregistrer des épisodes sismiques.

Pour surveiller la santé structurelle d'un édifice, d'un pont, d'une voie ferrée, d'un pylône haute tension ou de tout élément d'infrastructure, la stabilité est un critère très important. Dans ce type de scénario, la mesure porte sur la dérive potentielle de la structure (à ne pas confondre avec la dérive des appareils de mesure).

La stabilité à long terme d'un capteur est liée à des contraintes mécaniques. Toute contrainte de ce type subie pendant les opérations de soudage peut en effet provoquer un décalage électrique. Cette contrainte est susceptible d'évoluer dans le temps, entraînant une dérive du décalage qui peut être interprétée, à tort, comme une variation de l'inclinaison ou d'un autre paramètre structurel. Pour pallier ce problème, une attention particulière doit être accordée à la fixation du circuit intégré.

Le choix du boîtier est également important. Ces nouveaux accéléromètres sont montés sur un boîtier céramique LCC à 14 contacts qui assure une protection contre les contraintes mécaniques nettement supérieure aux boîtiers en plastique couramment utilisés dans les produits électroniques grand public. Un conditionnement en céramique garantit également un haut degré d'étanchéité contre l'humidité et la pénétration de particules, gage d'une stabilité optimale à long terme.

En fonctionnement normal, un composant est potentiellement soumis à des variations environnementales — température et humidité, par exemple — qui peuvent influencer sur ses performances. Face à l'humidité, un conditionnement étanche assuré par un boîtier LCC à 14 contacts garantit un fonctionnement stable, même dans les conditions les plus hostiles. La plage de température opérationnelle est comprise entre de -40 et +125°C, de sorte que les performances de ces composants sont optimisées pour des températures extrêmes. En outre, une attention particulière a été apportée à la minimisation de la dérive du décalage, le paramètre le plus important. Sur les trois axes, une dérive maximale de $\pm 0,15 \text{ mg}/^\circ\text{C}$ pour les accéléromètres à faible g ADXL354/ADXL355, et une dérive maximale de $\pm 0,75 \text{ mg}/^\circ\text{C}$ pour les accéléromètres à g élevé ADXL356/ADXL357, sont garanties. Enfin, ces accéléromètres embarquent un capteur de température intégré qui peut être utilisé pour la compensation thermique des dérives.

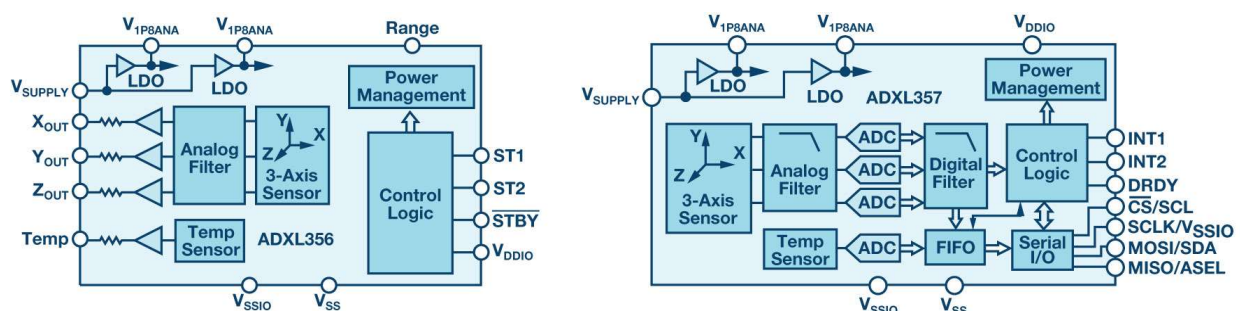


Figure 2. Schémas de principe des accéléromètres ADXL356 et ADXL357.

Table 1. Principales caractéristiques des familles d'accéléromètres MEMS d'Analog Devices

	ADXL354	ADXL355	ADXL356	ADXL357	ADXL1001	ADXL1002	ADXL1004
Plage pleine échelle (FSR) (g)	± 8	± 8	± 40	± 40	± 100	± 50	± 500
Nombre d'axes							
Sortie	Analogique	Digimérique	Analogique	Digimérique	Analogique	Analogique	Analogique
Bande passante (kHz)	24	24	24,5	24	24	24	24
Fréquence de résonance (kHz)	24	24	24,5	24	24	24	24
Densité de bruit ($\mu g/\sqrt{Hz}$)	10	10	10	10	10	10	10
Autotest	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
Courant d'alimentation en mode « mesure »	50 μA	50 μA	50 μA	50 μA	1 mA	1 mA	1 mA
Plage de température (°C)	-40 à +125	-40 à +125	-40 à +125	-40 à +125	-40 à +125	-40 à +125	-40 à +125

Conclusion

Aujourd'hui, la demande de capteurs MEMS s'élargit au-delà du secteur de l'électronique grand public, et de nouvelles opportunités voient le jour dans l'industrie et les infrastructures, deux univers où la fiabilité et les performances jouent un rôle clé. Les chercheurs d'Analog Devices se concentrent sur le développement de solutions capables à la fois de livrer des performances élevées et de fonctionner avec fiabilité dans des conditions environnementales extrêmes. Les accéléromètres ADXL354, ADXL355, ADXL356 et ADXL357 complètent la nouvelle famille d'accéléromètres à *g* élevé ADXL1001 ($\pm 100 g$), ADXL1002 ($\pm 50 g$) et ADXL1004 ($\pm 500 g$) qui conjuguent un très faible niveau de bruit et une bande passante ultra-élevée pouvant atteindre 24 kHz.