

# électronique analogique

## Étude de cas n° 1

## Section 1 : microphone MEMS... 1-2-3 test 1-2-3

Ton Giesberts (Elektor Labs)

Dans cette nouvelle série, des experts explorent des aspects de l'électronique analogique susceptibles de profiter à des lecteurs nés dans le numérique et pour qui l'analogique semble de la magie noire. Démarrons avec un composant étrange et omniprésent, le microphone MEMS. Extrêmement petit pour un composant analogique, peu fréquent dans les projets d'Elektor jusqu'à présent, sauf dans le détecteur de chauves-souris, un de nos montages les plus populaires depuis sa publication dans l'édition de septembre-octobre 2016 d'Elektor. Le microphone MEMS n'est pas de ces composants qu'on implante et qu'on peut oublier ensuite. Sa présence a une grande incidence sur le circuit, notamment sur l'amplificateur qui le suit. Voici quelques notions à retenir, avec les compliments de la VGA du labo d'Elektor (vieille garde analogique).

MEMS est l'acronyme de *Micro ElectroMechanical Systems*. Ce n'est pas de l'anglais, mais du grec pour désigner un petit composant en partie mécanique, placé sur ou associé à une puce semi-conductrice et caractérisé par un usinage de précision. Les MEMS sont des CMS : sur la chaîne de production, comme les autres composants, ils sont implantés automatiquement à l'aide de robots. Ils sont utilisés dans presque tous les segments de l'électronique : grand public, médical, communication, automobile, etc. L'électronique numérique moderne est truffée de MEMS, ce sont eux qui lui permettent de communiquer avec le monde analogique, par exemple pour la stabilisation d'image dans les caméras, la sécurité des disques durs, les stimulateurs cardiaques, les pompes à insuline, les transducteurs de pression médicaux, les téléphones portables, les coussins d'air et bien davantage.

### Microphone MEMS

Le composant central de notre détecteur de chauves-souris-  
PLUS [1] est le microphone qui capte les sons surtout ultra-

soniques émis par les chauves-souris. Si certaines espèces émettent en dessous de 20 kHz, mais au-dessus de 10 kHz, la plupart produisent surtout des ultrasons. Comme sur un micro à électret, une membrane, qui est le véritable capteur acoustique, provoque en vibrant de faibles variations de capacité qui peuvent engendrer des variations équivalentes de tension. Sur la plupart des micros à électret se trouve un JFET qui sert de semi-conducteur tampon. Sur un micro MEMS, la membrane acoustique est associée directement à une puce (ASIC) qui convertit la variation de tension analogique en un signal numérique — généralement par modulation de durée d'impulsion.

Il existe différentes configurations de micros MEMS (**fig. 1**), p. ex. avec le port acoustique au-dessus d'un orifice dans la partie métallique, ou avec le port acoustique entre les pastilles en bas, le trou est alors dans le circuit imprimé. Les micros MEMS sont plutôt insensibles au bruit sur la tension d'alimentation, aux chocs, aux vibrations, à l'humidité et à la condensation.

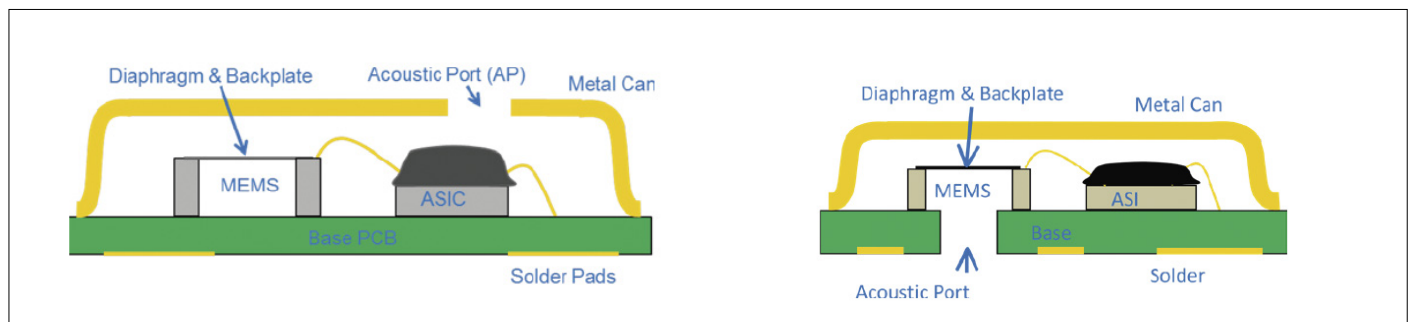


Figure.1. Coupe de deux microphones MEMS ouverts l'un au-dessous (à gauche), l'autre en dessous (à droite). Source : Note d'application 'sisonic-design-guide.pdf' par Knowles [2].

L'utilisation d'un micro MEMS sur une carte présente aussi des inconvénients. Pour éviter d'endommager le micro après le processus de refusion, pas question de nettoyer le circuit imprimé ni avec ni sans solvant. Suivez toujours la fiche technique et les recommandations du fabricant.

Comme la membrane du micro MEMS est petite, sa bande passante est haute : au-dessus de 10 kHz environ, sa sensibilité sera plus élevée de quelques dB. Le micro MEMS convient pour la parole, mais aussi pour les alarmes antivol, la détection de mouvement, etc. Le fabricant du composant utilisé dans le détecteur de chauves-souris<sup>PLUS</sup> en propose qui montent à 80 kHz ! Même quand ce n'est pas spécifié, il est permis de supposer que leur sensibilité aux ultrasons et leur largeur de bande rendent ces types de micros MEMS utilisables pour notre application. On remarque toutefois sur la fig. 1 que l'orifice du premier modèle n'est pas au-dessus du diaphragme, ce qui affectera sa réponse en fréquence. Le deuxième modèle conviendrait mieux. La réponse en fréquence du SPH0641LU4H-1 ressemble beaucoup à la courbe supérieure de la **fig. 2** et place ce composant en „ deuxième „ classe.

### Microphone sur carte

Pour faciliter la reproduction du détecteur de chauves-souris, Elektor propose un petit circuit imprimé (**fig. 3**) disponible séparément avec le microphone MEMS déjà monté [3]. Cette carte est universelle. Si la tension d'alimentation est parasitée (bruit, interférences), ou si le circuit imprimé est connecté par un long câble à 3 fils, un condensateur de découplage implanté sous la carte sera utile — p. ex. un CMS de 100 nF 1206 soudé sous la carte. En 1206, ça se laisse encore facilement souder à la main. Sur le détecteur de chauves-souris<sup>PLUS</sup>, la tension d'alimentation est stabilisée séparément par une zener de 3 V. Les distances sont courtes puisque le circuit imprimé est incorporé à un jack de 3,5 mm, aucun découplage supplémentaire n'est donc requis. Si vous mettez un condensateur de découplage, prenez un type à diélectrique C0GPO, vous aurez moins d'indésirables effets de microphonie (laquelle convertit inopportunistement les vibrations et autres chocs en tension). C'est un casse-tête avec les condensateurs céramiques qui sont aussi les pires condensateurs à utiliser pour le couplage ou de filtrage dans les amplificateurs audio, car leur capacité varie selon la tension appliquée. Le diélectrique C0GPO est moins critique. Comme sur (ou plutôt sous) les boîtiers BGA de circuits intégrés CMS, les connexions du microphone MEMS se trouvent *sous* le composant. Pour le souder, la refusion au four est la meilleure solution. Le microphone MEMS choisi pour le projet est de type port acoustique au-dessus. Avec un modèle dont le port est sous le composant, il faut un trou dans la carte sous le micro. La taille du trou et l'épaisseur du circuit imprimé affectent la réponse en fréquence du micro. Dans tous les cas, la configuration du circuit imprimé est un facteur à prendre en compte, car les réflexions sur les surfaces planes à proximité immédiate du micro exercent une influence sur la réponse en fréquence finale. Pour que l'orifice dans le corps du boîtier soit parfaitement aligné avec le port acoustique du micro, on place un joint. Son ajustement précis évitera les fuites d'air indésirables.

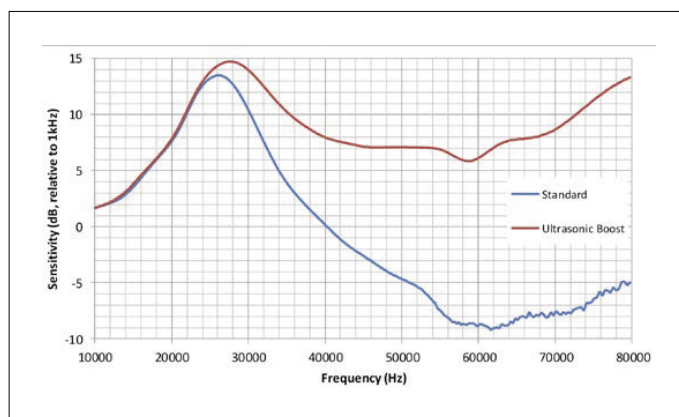


Figure 2. Courbe de réponse de microphones MEMS. Les micros SiSonic ouverts en dessous et MEMS-on-Lid ouverts au-dessus de Knowles conviennent pour la gamme des ultrasons de 20 kHz à 80 kHz dans laquelle ils présentent un gain supplémentaire.

Source : Note d'application 'sisonic-design-guide.pdf' de Knowles [2].

### Adaptations à l'amplificateur analogique du micro MEMS

Qu'il s'agisse d'un micro MEMS, d'un micro à électret ou même d'un micro dynamique, avant de concevoir un amplificateur pour micro, il faut connaître l'amplitude du signal d'entrée, ainsi que le niveau du signal à appliquer en aval. Le microphone proprement dit importe surtout pour ce qui est de l'adaptation et de la tension d'alimentation correctes. Souvent, l'impédance d'entrée est spécifiée par le fabricant sans oublier l'indispensable résistance de polarisation pour un micro à électret. Au besoin, chercher un schéma d'application type. Si l'intensité nominale du courant de drain du JFET interne au microphone à électret est connue, vous pouvez même l'alimenter sous une tension plus élevée que celle qui est prévue à condition de corriger la valeur de la résistance en conséquence. En tout cas ne dépassez pas la tension maximale du JFET.

L'impédance de sortie d'un micro à électret sera plus élevée que celle d'un micro MEMS en raison de la résistance de polarisation et peut donc induire plus de bruit. Avec un micro à électret, c'est la résistance de polarisation du JFET de l'alimentation vers la sortie qui détermine la résistance de sortie. La valeur typique est 2,2 kΩ. Pour éviter une division excessive de la tension à l'entrée, la résistance d'entrée doit être de

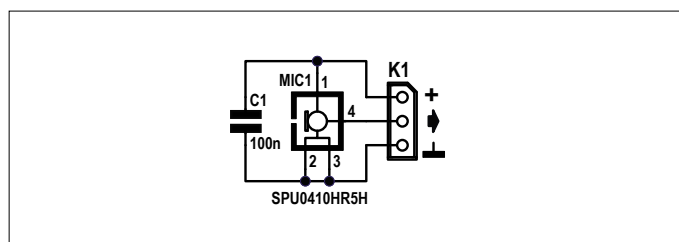


Figure 3. Schéma de la carte micro du détecteur de chauve-souris.

## Liens

- [1] détecteur de chauve-souris PLUS : [www.elektormagazine.fr/magazine/elektor-201611/39913](http://www.elektormagazine.fr/magazine/elektor-201611/39913)
- [2] Knowles' Sisonic Design Guide: [www.knowles.com/subdepartment/application-notes/dpt-microphones/subdpt-sisonic-surface-mount-mems](http://www.knowles.com/subdepartment/application-notes/dpt-microphones/subdpt-sisonic-surface-mount-mems)
- [3] Carte microphone MEMS Elektor : [www.elektor.fr/bat-detector-with-amplitude-recovery-mems](http://www.elektor.fr/bat-detector-with-amplitude-recovery-mems)

## Pour naviguer et plonger

Voici pour affermir vos connaissances quelques liens complémentaires

- 1. Analog Devices : [www.analog.com/en/analog-dialogue/articles/mems-microphones-future-for-hearing-aids.html](http://www.analog.com/en/analog-dialogue/articles/mems-microphones-future-for-hearing-aids.html)
- 2. Digikey : [www.digikey.de/en/articles/techzone/2019/feb/mems-vs-ecm-comparing-microphone-technologies](http://www.digikey.de/en/articles/techzone/2019/feb/mems-vs-ecm-comparing-microphone-technologies)
- 3. MEMS intro : [www.allaboutcircuits.com/technical-articles/improving-on-the-electret-an-introduction-to-mems-microphones/](http://www.allaboutcircuits.com/technical-articles/improving-on-the-electret-an-introduction-to-mems-microphones/)
- 4. Détecteurs de chauves-souris : [www.skillbank.co.uk/bat\\_detectors/afd1.html](http://www.skillbank.co.uk/bat_detectors/afd1.html)
- 5. Circuits intégrés TDK InvenSense : [www.mouser.co.uk/new/tdk/tdk-invensense-ics-40740/](http://www.mouser.co.uk/new/tdk/tdk-invensense-ics-40740/)  
(lire les ressources supplémentaires)

5 à 10 fois supérieure. Avec un amplificateur non-inverseur, cette résistance (qui peut être beaucoup plus élevée à l'entrée +) a beaucoup moins de conséquences sur le bruit. Les résistances du réseau de rétroaction ont des effets graves, mais elles peuvent être choisies beaucoup plus basses parce qu'elles ne représentent pas de charge pour le micro. Ce n'est que lorsque la fréquence de coupure à l'entrée est relativement élevée qu'une impédance d'entrée plus élevée est créée autour de cette fréquence. Sinon, cette impédance n'est déterminée que par la résistance de sortie du micro.

Si nous prenons un amplificateur inverseur, une résistance trop élevée induit un bruit d'entrée supplémentaire, de sorte que le choix de la résistance d'entrée sera un compromis, car elle fait partie de la boucle de rétroaction. Prenez R4 dans l'amplificateur du détecteur de chauves-souris<sup>PLUS</sup>, elle fait 7,5 kΩ. Le bruit d'une résistance augmente avec la racine carrée de l'augmentation de sa valeur. Soit 3 dB de bruit en plus pour une résistance deux fois plus élevée (6 dB).

Quand un micro est utilisé sur un pied dans un concert ou sur un pupitre de conférencier, l'amplitude du signal de sortie est dans certaines limites connues. Si le signal capté est ultrasonique, la caractéristique du micro n'est pas spécifiée, et la distance

de la source sonore à la membrane est aussi changeante et imprévisible qu'une chauve-souris en vol. Au-delà d'une certaine distance, l'air atténue les fréquences supérieures plus fortement que les fréquences inférieures. L'effet de la distance variable est encore plus sensible avec les ultrasons.

La fig. 2 montre les caractéristiques patatoïdes, en particulier la caractéristique standard. Vous pouvez commencer par déterminer le gain souhaité. Dans le cas de notre détecteur, il dépendra de ce dont le comparateur (IC3B) a besoin pour fonctionner correctement, et du niveau de signal nécessaire au redresseur IC4A pour extraire la modulation. L'empirisme a aussi sa part dans la détermination de ce gain qu'il faut adapter au micro utilisé.

Cela se complique si différents micros sont utilisés, mais que le gain de l'amplificateur est un réglage fixe. Il faut aussi limiter la gamme de fréquences d'un amplificateur : pour nos chiropètes volants, on adopte généralement une bande passante de 10 kHz à 120 kHz.

**Dans la prochaine livraison de cette série, nous évaluerons le préamplificateur de micro original du détecteur de chauves-souris<sup>PLUS</sup> et chercherons à l'optimiser pour le micro MEMS proposé.** ◀

(191143-02 VF)

## Sortez du rang !



**Si vous êtes expert de l'électronique analogique** et que vous possédez aussi de solides compétences en matière de rédaction et de communication, **veuillez faire un pas en avant et envoyer un message à [jan.buiting@elektor.com](mailto:jan.buiting@elektor.com)**

Jan Buiting, l'éditeur de cette série, attend votre CV avec un échantillon de votre savoir-faire et de vos idées sur le contenu d'une telle rubrique.