



# électronique analogique

## Étude de cas n° 1 - section 2 : Préamplificateur optimisé pour les microphones MEMS

Ton Giesberts (Elektor Labs)

Dans cette série d'articles, des experts de l'électronique analogique en éclairent divers aspects susceptibles de profiter à des lecteurs nés dans le numérique. En effet, l'analogique n'est pas de la magie noire. Dans la première section de cette étude de cas, nous avons parlé du microphone MEMS utilisé pour la première fois dans un projet d'Elektor appelé *Bat Detector<sup>PLUS</sup>*. Approfondissons avec l'ampli de micro plutôt raffiné de ce projet.

Cet article d'une série sur la *conception électronique analogique* fournit une évaluation documentée et commentée du préamplificateur de microphone original utilisé dans le détecteur de chauves-souris *Bat Detector<sup>PLUS</sup>* [1]. L'auteur discute des solutions pour l'optimiser pour le microphone MEMS examiné dans la section 1 de cette étude de cas [2]. Pour bien suivre, il convient de se référer au schéma de circuit du préamplificateur de microphone mentionné ; c'est la partie surlignée de la **fig. 1**. Nous reproduisons délibérément le schéma complet du *Bat Detector<sup>PLUS</sup>* pour bien montrer comment le préamplificateur est :

- relié au microphone (K1) ;
- chargé (par IC4A) ;
- alimenté (symétriquement sous  $\pm 4,5$  V par IC1).

Finalement, l'amplificateur opérationnel de faible puissance TL062 fait encore bonne figure avec ses 200  $\mu$ A de courant d'alimentation par amplificateur au repos. Ce n'est pas mal comparé à de nombreuses versions de faible puissance actuelles, disponibles presque exclusivement comme CMS (toujours plus minuscules !), mais il y en a maintenant de bien meilleurs. Son produit gain-bande passante (GBW) de 1 MHz est la pierre d'achoppement de ce circuit, puisqu'il impose un facteur d'amplification de 1845. Si dans le gain total nous incluons les 400  $\Omega$  du micro MEMS, la bande passante avec un seul ampli op serait de 540 Hz. Pour élargir cette bande passante, il faut plusieurs amplificateurs successifs, trois exactement, chacun avec moins d'amplification et donc plus de bande passante. Cela implique une augmentation de la consommation d'énergie dont on peut se demander si elle est justifiée si on la compare à celle d'un ampli op beaucoup plus rapide. Il existe des amplis ultrarapides comme l'OPA2889 à deux étages avec un produit gain-bande passante de 75 MHz et un facteur 20 d'amplification pour une consommation de 0,92 mA pour les deux amplificateurs.

Mais revenons au nombre d'amplis op nécessaires. C'est difficile à calculer, car la bande passante par amplificateur peut ne pas correspondre à celle d'un filtre passe-bas de premier

ordre. Plus il y aura d'amplificateurs en série, plus la bande passante sera réduite comparée à celle d'un ampli unique. Par commodité, considérons que la réponse est celle d'un réseau RC de premier ordre. Cela vaut aussi pour des étages de filtrage similaires déterminant la limite inférieure ; plus d'étages signifie une fréquence de coupure plus haute pour la limite inférieure de la bande. Pour un filtre RC passe-haut du premier ordre, la fonction de transfert est :

$$j\omega RC / (1 + j\omega RC) \quad (1)$$

En raison de la rotation des phases, la distribution réelle de la tension est :

$$\omega RC / \sqrt{1 + (\omega RC)^2} \quad (2)$$

Pour le point de coupure, cela équivaut à  $1/\sqrt{2}$ . C'est le fameux point -3 dB point, que les tatillons noteront :

$$20 \log 1/\sqrt{2} = -3,0103$$

Nous voulons la largeur de bande réelle lorsque plusieurs étages seront en série. Au lieu de  $1/\sqrt{2}$ , on prend le facteur  $x$ . En réorganisant, on obtient :

$$\omega RC = x / \sqrt{1 - x^2} \quad (3)$$

Par exemple, pour un point de -3 dB, entrez la valeur  $1/\sqrt{2}$  pour  $x$ , ce qui donne 1 exactement et la formule standard bien connue pour la fréquence de coupure à -3 dB :

$$f = 1 / (2\pi RC) \quad (4)$$

Nous voulons le nouveau point de coupure s'il est connu d'un étage. Prenons trois étages comme dans le circuit. Nous devrions trouver la fréquence à laquelle l'atténuation est de

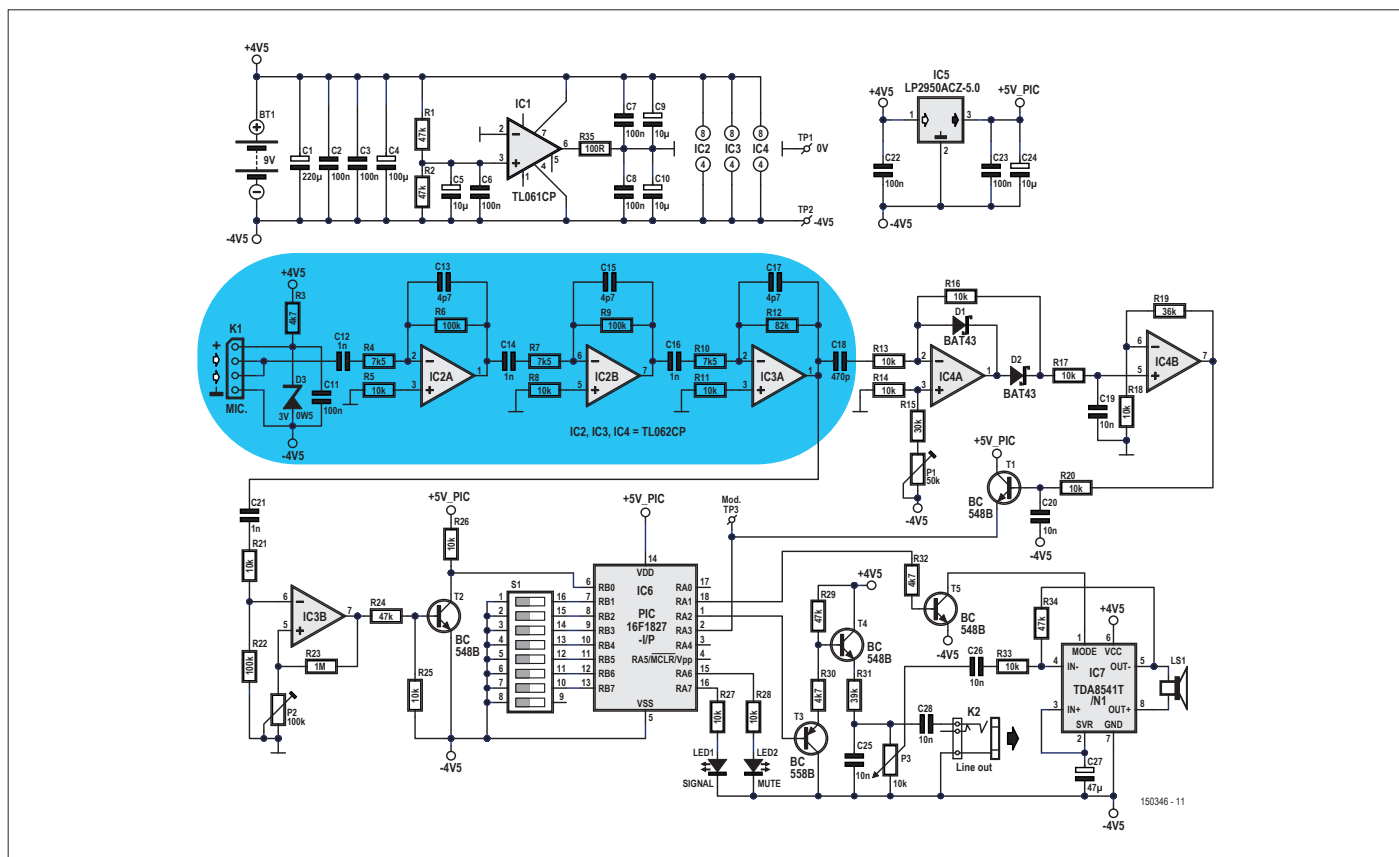


Figure 1 : Circuit complet du détecteur Bat Detector<sup>PLUS</sup> avec le préamplificateur de microphone à 3 étages en surbrillance.

1 dB. Par commodité, nous ne prenons pas  $-3,0103/3$  mais seulement  $-1$ . De  $20\log x = -1$  il s'ensuit que :

$$x = 10^{(-1/20)} \quad (5)$$

L'atténuation à trouver pour le point à  $-1$  dB s'établit alors à 0,891251.

En l'entrant dans l'équation 3,  $\omega RC$  est égal à 1,96523. Par conséquent, pour trois étages égaux, le nouveau point de coupure sera presque deux fois plus élevé. Dans le cas d'un filtre passe-bas, le point de coupure est alors presque deux fois plus bas. Pour  $n$  étages, on aura :

$$x = 10^{((-3/n)/20)} \quad (6)$$

Dans le cas du TL062, un gain de 13,3 fois (c'est-à-dire  $100/7,5$ ) pour l'étage médian, signifie un point de coupure à 75 kHz. Le condensateur supplémentaire de 4,7 pF dans la boucle de rétroaction abaisse encore la fréquence de coupure à environ 60 kHz par étage et modifie la réponse en fréquence à un ordre supérieur.

### D'abord simuler...

... avant de dessiner un PCB ou de construire un proto sur plaque d'essais. Ne serait-ce que pour s'assurer qu'il y a assez

étages et qu'il n'y a rien d'autre à corriger. Souvent, la simulation est plus rapide que les calculs. La simulation du préampli a montré que sa bande passante finale allait de 23 kHz à 58 kHz. Pas assez pour les chauves-souris ! Sur notre proto, la limite supérieure était même légèrement inférieure à environ 44 kHz, à cause probablement des tolérances des amplis op, et de la tension d'alimentation plus basse que celle que prévoit la fiche technique pour le GBW : soit une valeur **typique** de 1 MHz pour un TL062 ; max et min non spécifiés. La réponse de chaque étage n'est probablement pas non plus purement du premier ordre.

### Combien d'étages alors...

... si on utilise ce bon vieux TL062 ? Il est recommandé de ne pas laisser la limite de l'ampli op déterminer la largeur de bande souhaitée, car le produit gain-bande passante GBW de l'ampli op peut présenter des dispersions considérables. Les effets tout aussi négatifs sur la distorsion et l'intermodulation ne posent pas vraiment de problème ici. Il est préférable que cette limite soit sensiblement plus élevée que nécessaire avant le filtrage, disons un facteur de 2, de préférence 3, et que l'on laisse un condensateur dans le circuit de rétroaction fixer la largeur de bande souhaitée.

Où cela nous mènera-t-il ? La limite supérieure de la bande passante effective de l'ampli op – et par conséquent le gain

