

# filtre actif 1 kHz pour mesures de distorsion

mesures améliorées par l'optimisation du signal de mesure

**Alfred Rosenkränzer (Allemagne)**

La détection de faibles distorsions dans les signaux exige de fournir un signal de mesure de très bonne qualité au dispositif à tester et un appareil de mesure dont la gamme dynamique et la linéarité sont très étendues. Un filtre en aval d'un générateur de qualité moyenne permet toutefois de fournir des signaux de mesure de haute qualité.

Dans l'article « Filtre coupe-bande de Fliege pour les mesures audio » paru dans Elektor 09/10 2022 [1], il a été montré comment l'utilisation d'un filtre coupe-bande étend la plage de mesure des distorsions avec un numériseur. De cette façon, on élimine le signal de test, ce qui empêche le numériseur d'y ajouter ses propres distorsions. Une condition nécessaire à la détection correcte de faibles niveaux de distorsion du dispositif testé (DUT) est que le générateur de signaux alimentant le DUT produise un signal de haute qualité. Sinon, à la distorsion du circuit testé, on ajoute celle du générateur ce qui constitue un biais de mesure.

Cependant, la qualité du signal généré par les générateurs de signaux abordables donc non-professionnels laisse souvent à désirer. En plaçant un filtre en aval du générateur on peut atténuer les distorsions de celui-ci et faire un petit miracle en fournissant un signal de mesure très propre.

## Exigences

La plupart des mesures audio étant effectuées à la fréquence type d'1 kHz, un filtre à bande passante fixe ou à fréquence de coupure ( $F_c$ ) de 1 kHz est généralement suffisant. Le filtre doit laisser passer la fréquence d'essai sans l'atténuer, mais atténuer ses harmoniques (les multiples de celle-ci) autant que possible. Une autre condition sine qua non est que le filtre lui-même ne doit pas produire de distorsion significative.

Pour faciliter les essais, il est utile que ce 1<sup>er</sup> filtre ait une certaine largeur de bande, pas trop étroite. Cela permet en effet d'adapter la fréquence du signal de mesure à la fréquence exacte du 2<sup>er</sup> filtre coupe-bande à bande étroite sans variations de niveau et faire que ce dernier élimine le signal de mesure avant la mesure. La **figure 1** montre le principe de cette mesure avec les deux filtres en amont et aval du DUT.

## Filtre

En principe, la réduction de la distorsion du générateur par atténuation des harmoniques peut être obtenue avec un filtre passe-bande, mais aussi avec un filtre passe-bas approprié. Le mieux est de caractériser l'atténuation des harmoniques pour divers types et configuration de

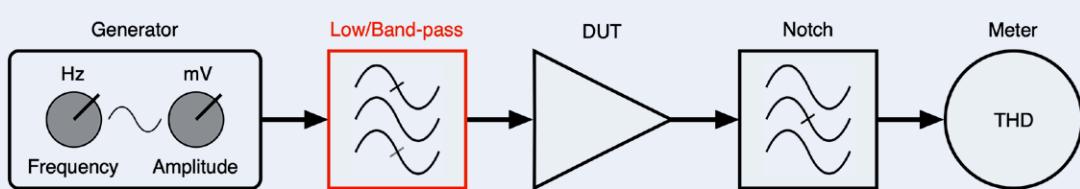


Figure 1. Principe de mesure optimisé pour la distorsion avec le DUT entre deux filtres. Le filtre amont (rouge) passe-bas ou passe-bande élimine la distorsion du signal du générateur.

filtres à 1 kHz et réunir les résultats (**tableau 1**) afin de comparer un filtre passe-bande d'ordre 4 à différents filtres passe-bas) et retenir les combinaisons ayant le meilleur rapport atténuation/coût. L'atténuation à 2 et 3 kHz est particulièrement pertinente car ces harmoniques sont les plus marquées sur la plupart des générateurs.

**Tableau 1. Amortissement du filtre**

Fréquence (kHz)	BP ord. 4. (dB)	LP Bw. ord. 4. (dB)	LP Ch. ord. 4. (dB)	LP Bw. ord. 8. (dB)
1,0	0,0	0,1	0,3	0,0
2,0	-45,0	-11,7	-26,0	-32,0
3,0	-56,0	-25,2	-42,0	-60,0
4,0	-62,0	-35,0	-52,0	-80,0
5,0	-66,0	-42,8	-60,0	-90,0
6,0	-69,0	-49,5	-67,0	-90,0
7,0	-72,0	-54,0	-72,0	-90,0
8,0	-74,0	-59,0	-77,0	-90,0
9,0	-75,0	-63,0	-81,0	-90,0
10,0	-76,0	-67,0	-85,0	-90,0

Un filtre passe-bas de Butterworth (Bw) d'ordre 4 n'atténue même pas de 12 dB à 2 kHz et ne convient donc pas à ce type d'application. Un filtre passe-bas de Chebyshev (Ch) d'ordre 4 atteint déjà -26 dB ici. Un filtre passe-bas de Butterworth d'ordre 8 et un filtre passe-bande d'ordre 4 avec une BP de 100 Hz font encore mieux. Voyez la compa-

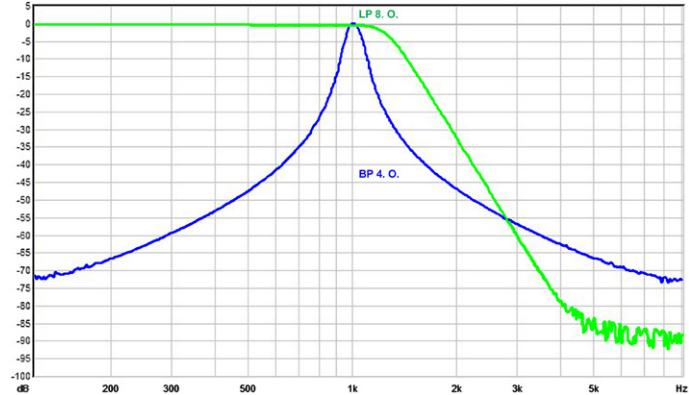


Figure 2. Comparaison des réponses en fréquence d'un filtre passe-bas de Bw d'ordre 8 (vert) et d'un filtre passe-bande d'ordre 4 (bleu).

raison des réponses en fréquence de ces deux filtres **figure 2**. Comme ces deux filtres sont à privilégié, nous avons développé des cartes à circuit imprimé pour eux (même taille que le filtre coupe-bande de [1]). La carte régulateur de tension d'alors convient ici aussi.

## Schémas

La **figure 3** montre le schéma du filtre passe-bas de Bw d'ordre 8. La valeur spécifiée des composants donne une  $F_c$  d'1,28 kHz et évite toute atténuation indésirable sur une plage de quelques dizaines de Hz autour de 1 kHz. Les **figures 4** et **5** montrent l'implantation des composants et le prototype du filtre passe-bas. Pour chaque résistance et condensateur déterminant la fréquence, un composant additionnel est prévu en parallèle (aucune valeur sur la **figure 3**).

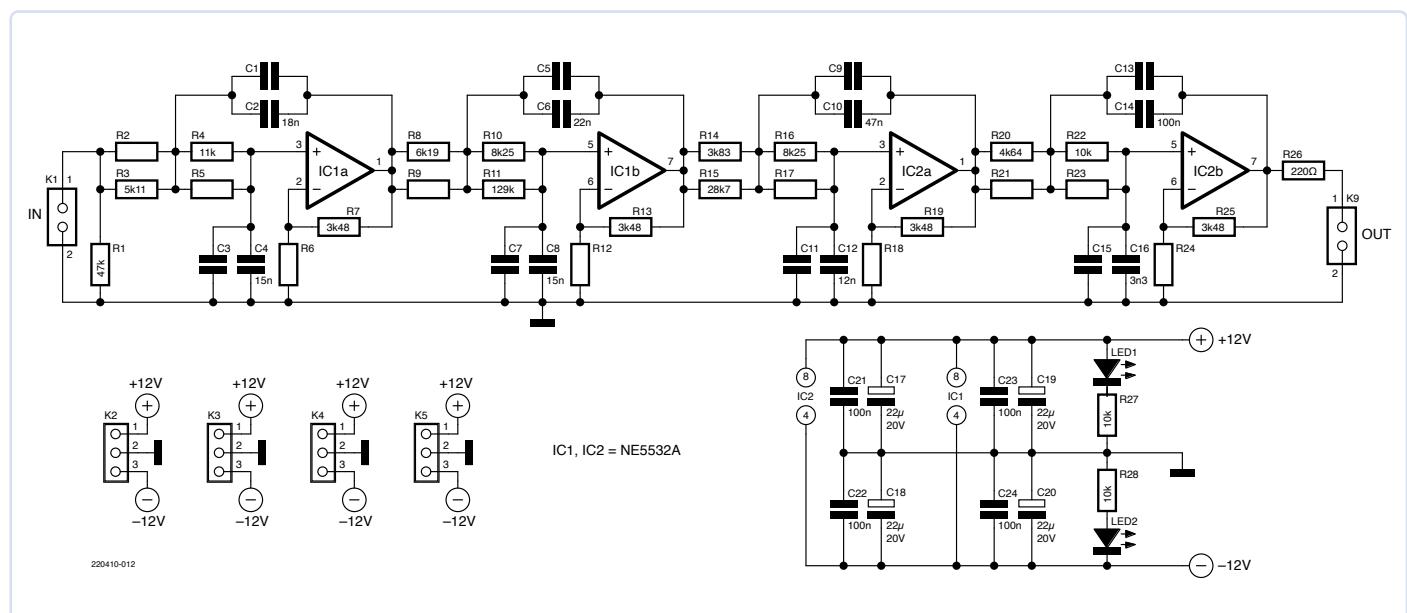


Figure 3. Schéma du filtre passe-bas de Bw d'ordre 8.

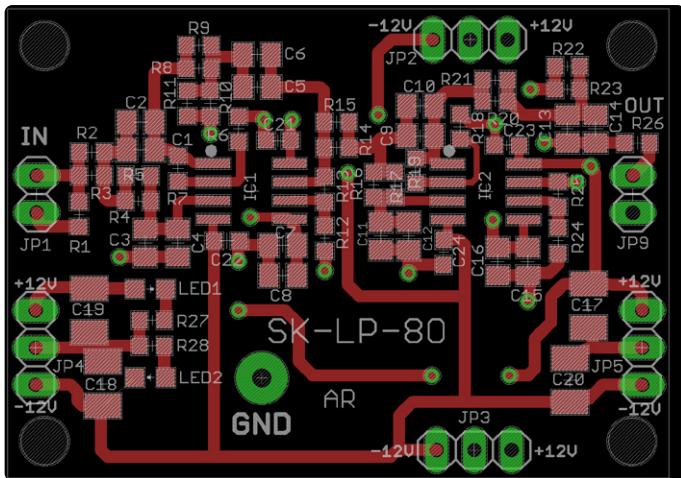


Figure 4. Implantation de la carte pour le filtre passe-bas de Bw d'ordre 8.

Ainsi, la série E disponible dans le commerce permet d'atteindre avec précision la valeur calculée. Mesurez avec précision les condensateurs choisis avant de les souder sous peine de remplacement ultérieur de composants. La carte prévoit également de la place pour des résistances supplémentaires (R6, R12, R18 et R24, réglage éventuel du gain du filtre), mais elles ne sont pas nécessaires ici et sont donc omises. Mieux vaut lire l'article sur le passe-bande de Fliege [1] et, si nécessaire, celui sur le logiciel de filtrage [2], car ils expliquent en détail la procédure du réglage exact des fréquences du filtre et le logiciel de calcul des composants utilisé à cet effet. Exemple d'optimisation : La valeur mesurée de C14 de 100 nF est de 103 nF, c'est dans la tolérance de 5 % du composant. Dès lors, en entrant une valeur de 103 nF dans



Figure 5. Le prototype passe-bas terminé de l'auteur.

le logiciel, on obtient les valeurs ajustées des autres composants de l'étage à une fréquence donnée, or les résistances se trouvent facilement et à bon marché, même avec une tolérance de 1 %. La procédure vaut aussi pour le filtre passe-bande (schéma : **figure 6**, implantation : **figure 7**, prototype : **figure 8**). Pour les composants déterminant la fréquence, des composants supplémentaires ont été prévus pour un éventuel montage en parallèle, et une amplification optionnelle utilise R8, R9, R18 et R19. Les valeurs des condensateurs déterminant la fréquence étant identiques, mieux vaut utiliser des composants du même lot et compenser les différences – qui seront probablement très faibles – par des condensateurs en parallèles. Là aussi, il est recommandé de saisir la valeur obtenue dans le logiciel.

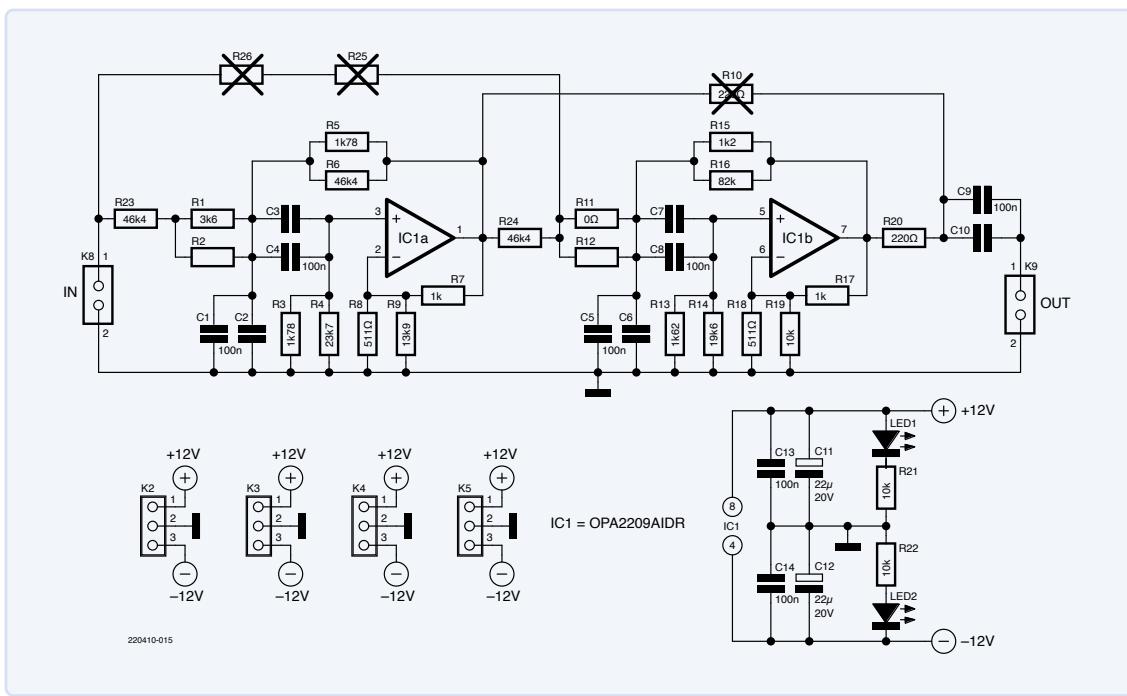


Figure 6. Schéma du filtre passe-bande d'ordre 4 avec une BP de 100 Hz.

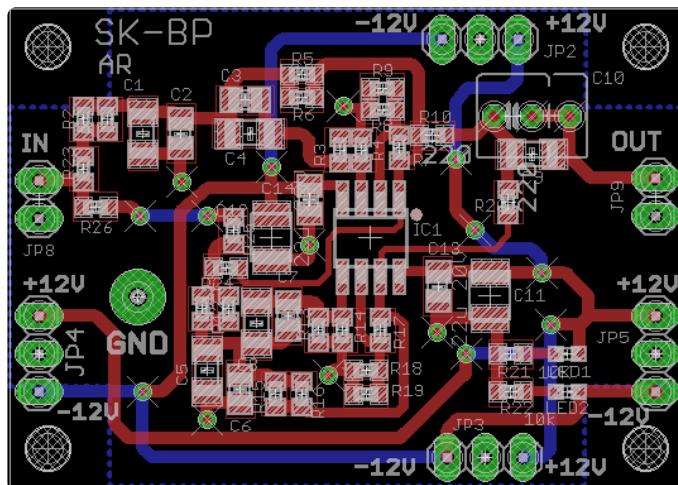


Figure 7. Disposition de la carte pour le filtre passe-bande d'ordre 4.

Pour atteindre la meilleure précision possible pour les résistances en entrée de chaque étage, une combinaison d'une résistance en série avec deux résistances en parallèle a été prévue dans chaque cas. R10, R25 et R26 ne sont utilisées que pour mesurer les caractéristiques des différents étages comme décrit dans [1] et sont donc omises. Pour un réglage fin, il est recommandé de simuler le circuit avec les valeurs réelles mesurées.

### Quel filtre ?

Ayant maintenant le choix d'utiliser un filtre passe-bas ou un filtre passe-bande, la question se pose naturellement : quel type de filtre est le mieux adapté au besoin ?

Pour une atténuation correcte, un filtre passe-bas doit être d'ordre plus élevé, il utilise donc quatre AOP. Cela augmente le bruit intrinsèque et, bien sûr, la distorsion produite par le filtre. En revanche, à partir d'environ 3 kHz, il atténue plus que le passe-bande les harmoniques d'ordre supérieur. Il laisser passer toutes les fréquences  $< F_c$ , cela peut favoriser d'autres applications.

Le passe-bande d'ordre 4, s'en sort avec seulement deux AOP, il doit donc produire moins de bruit et de distorsion intrinsèques. Ne laissant passer que les fréquences proches d'1 kHz avec une bande passante de 100 Hz, il ne convient guère à d'autres applications. Mais, atténuant toutes les fréquences inférieures à 1 kHz et donc des signaux indésirables comme le ronflement secteur, le bruit BF intrinsèque est aussi réduit, ce qui peut profiter aux mesures du rapport S/B.

### Divers

À cause des minuscules composants CMS utilisés, le soudage des cartes n'est pas adapté aux débutants en soudage manuel. Les électroniciens expérimentés ne devraient cependant pas rencontrer de problèmes. Les fichiers d'implantation au format Eagle sont téléchargeables gratuitement sur la page de cet article [3]. Toutes les résistances impliquées dans le signal doivent être de haute qualité et de type couche mince. Pour garantir des caractéristiques stables (dont une faible distorsion intrinsèque), seuls les condensateurs céramiques CMS de type COG sont utilisables pour véhiculer le signal.

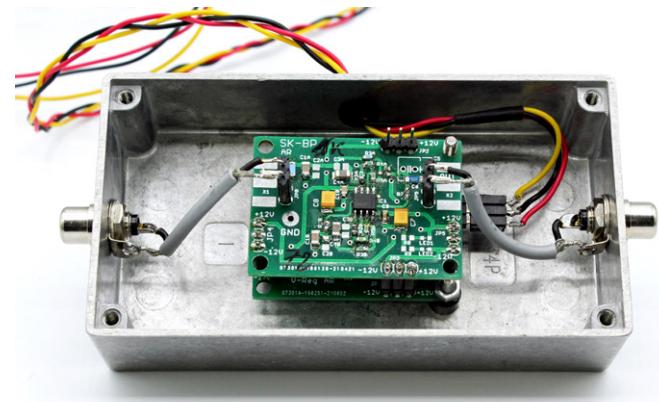


Figure 8. Prototype de passe-bande terminé, monté dans un boîtier en alu.

L'auteur dispose encore de quelques cartes nues. Au besoin, vous pouvez le contacter par courriel (voir « À propos de l'auteur »). Les deux filtres présentés ici ne sont pas limités à 1 kHz. En appliquant les considérations de conception de [1], on peut facilement réaliser un ensemble de filtres passe-bas, passe-bande et coupe-bande adapté à différentes fréquences, et l'utiliser pour étudier la distorsion de circuits audio à différentes fréquences. ↗

VF : Yves Georges — 220410-04

### À propos de l'auteur

Alfred Rosenkränzer a longtemps travaillé pendant comme ingénieur de développement, au début dans les techniques de la télévision professionnelle. Peu avant l'an 2000, pour tester des CI, il développe des circuits numériques à haut débit et analogiques. Il n'a cessé de se passionner pour l'audio.

### Des questions, des commentaires ?

Envoyez un courriel à l'auteur (alfred\_rosenkraenzer@gmx.de) ou contactez Elektor (redaction@elektor.fr).

### LIENS

- [1] Alfred Rosenkränzer, « Filtre coupe-bande de Fliege pour les mesures audio », Elektor 9-10/2022 : <https://www.elektormagazine.fr/magazine/elektor-275/61027>
- [2] Alfred Rosenkränzer, « logiciel de calcul de filtres », Elektor 11-12/2022 : <https://www.elektormagazine.fr/magazine/elektor-283/61165>
- [3] Page web de cet article : <https://elektormagazine.fr/220410-04>



## LISTE DES COMPOSANTS : PASSE-BAS

### Résistances :

(Film mince, 1 %, SMD 0603)

R1 = 47 k

R2, R5, R9, R17, R21, R23 = connexion parallèle \*

R3 = 5,11 k

R4 = 11 k

R6, R12, R18, R24 = gain, non applicable \*

R7, R13, R19, R25 = 3,48 k

R8 = 6,19 k

R10, R16 = 8,25 k

R11 = 129 k

R14 = 3,83 k

R15 = 28,7 k

R20 = 4,64 k

R22, R27, R28 = 10 k

R26 = 220  $\Omega$

### Condensateurs :

(Sauf indication contraire : 5 %, COG, SMD0805)

C1, C3, C5, C7, C9, C11, C13, C15 = connexion parallèle \*

C2 = 18 n

C4, C8 = 15 n

C6 = 22 n

C10 = 47 n

C12 = 12 n

C14 = 100 n

C16 = 3,3 n

C17, C18, C19, C20 = Condensateur électrolytique 22  $\mu$  / 20 V, SMD-B

C21, C22, C23, C24 = 100 n, SMD0603

### Semi-conducteur :

LED1, LED2 = LED, green, SMD0805

IC1, IC2 = NE5532A, SO08

### Aussi :

K1, K9 = connecteur mâle, 2 broches, RM 1/10"

K2..K5 = connecteur mâle, 3 broches, RM 1/10"

\* Voir texte



## LISTE DES COMPOSANTS : PASSE-BANDE

### Résistances :

(Film mince, 1 %, SMD 0603)

R1 = 3,6 k

R2, R12 = connexion parallèle \*

R3, R5 = 1,78 k

R4 = 23,7 k

R6, R23, R24 = 46,4 k

R7, R17 = 1 k

R8, R18 = 511  $\Omega$

R9 = 13,9 k

R10, R25, R26 = non applicable \*

R11 = 0  $\Omega$

R13 = 1,62 k

R14 = 19,6 k

R15 = 1,2 k

R16 = 82 k

R19, R21, R22 = 10 k

### Condensateurs :

(Sauf indication contraire : 5 %, COG, SMD0805)

C1, C4, C5, C8, C9 = 100 n, SMD1206

C2, C3, C6, C7 = connexion parallèle \*

C10 = non applicable

### Semi-conducteurs :

LED1, LED2 = LED, verte, SMD0603

IC1 = OPA2209AIDR, SO08

### Aussi :

K8, K9 = Connecteur mâle, 2 broches, RM 1/10"

K2..K5 = Connecteur mâle, 3 broches, RM 1/10"

\* Voir texte



## Produits

➤ OWON AG051 générateur de forme d'ondes arbitraires (5 MHz) (SKU 18874)  
<https://elektor.fr/18874>

➤ OWON SDS1102 oscilloscope à deux voies (100 MHz) (SKU 18782)  
<https://elektor.fr/18782>

➤ OWON XSA810 analyseur de spectre (1 GHz) (SKU 19714)  
<https://elektor.fr/19714>

