

# sonde de courant pour oscilloscopes

## mesure à potentiel flottant de la chute de tension aux bornes de shunts

Alfred Rosenkränzer (Allemagne)

L'oscilloscope prend indéniablement, après le multimètre, la seconde place sur le podium des instruments essentiels en électronique. Universel et d'emploi flexible, il impressionne, car il permet d'afficher des courbes de tension ou de représenter d'autres signaux dynamiques. Toutefois, contrairement au multimètre, un oscilloscope n'est pas conçu pour la mesure de courants. La sonde présentée ici va le permettre !

Si l'on utilise un multimètre pour mesurer un courant, il n'y a pas de mesure directe du courant ; la mesure est celle de la chute de tension aux bornes d'une résistance (d'impédance faible), intégrée dans le multimètre et dont la valeur dépend de la plage de mesure. Cela marche parfaitement, car le multimètre est presque toujours alimenté par piles ; ainsi, il est non seulement à potentiel flottant, mais également bien isolé par son boîtier en plastique. Il existe une variante encore mieux isolée : la pince ampèremétrique ; avec elle, on place une pince annulaire métallique articulée autour d'un conducteur et on mesure, avec un capteur à effet Hall (ou une bobine pour des courants alternatifs purs), le champ magnétique créé.

Les deux méthodes ont leurs inconvénients : elles ne détectent pas l'aspect dynamique des courants variables, et les pinces ampèremétriques conviennent mieux pour des courants intenses dans des câbles et des tresses – de plus, leur plage de fréquences utile est relativement étroite. La capture de signaux dynamiques dans des circuits est le domaine des oscilloscopes – bien qu'ils ne soient pas conçus d'origine pour cela. Nous allons les y aider...

### Shunt & oscilloscope

Les oscilloscopes rechignent donc à mesurer des courants. Pour des courants dynamiques, il s'agit souvent de courants de quelques ampères, voire de moins d'un ampère ; l'intéressant est surtout leur

évolution dans un circuit. Souvent, on aimerait connaître le comportement du courant qui traverse un composant en fonction, par exemple, d'une tension à un autre endroit – ou vice versa. Et, pour cela, les pinces ampèremétriques sont plutôt inconfortables. Souvent, on utilise comme shunt, une résistance déjà présente et on mesure simplement la chute de tension à ses bornes, facteur qui permet de déterminer le courant, voire on dessoude l'une des extrémités d'un composant ou on déconnecte la liaison vers une partie du circuit et on place à cet endroit un shunt de valeur de résistance appropriée et constituant une charge suffisante. Simplissime, non ?

Les oscilloscopes ont malheureusement certaines limites. Certains d'entre eux ne sont pas entièrement à potentiel flottant, ce qui ne permet pas d'utiliser l'astuce qui consiste à mesurer le courant sur une résistance en tant que différence

des signaux fournis par deux sondes d'oscilloscope normales. Les choses se compliquent encore si l'on veut, à l'aide d'un oscilloscope ne possédant « que » deux canaux, mesurer simultanément une tension relative à la masse du circuit testé, car il faudrait alors commencer par mettre aussi le shunt ou une extrémité de la résistance traversée par le courant à ladite masse. Il faudra donc inévitablement passer par une mesure à potentiel flottant et différentielle de petites tensions et c'est exactement la fonction que permet d'ajouter l'électronique décrite ici.

### Différentiel & potentiel flottant

L'électronicien attentif n'aura pas manqué d'identifier le principe d'une solution « potentielle » : utiliser ce que l'on appelle un amplificateur d'instrumentation. Il mesure (à haute impédance généralement) une différence de tension indépendamment du potentiel de masse. Cepen-

### Caractéristiques techniques :

- |  |  |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sonde de courant pour oscilloscope</li> <li>• Tension de mode commun :             <ul style="list-style-type: none"> <li>- min. <math>\pm 200</math> V, IC1 sous <math>\pm 5</math> V</li> <li>- jusqu'à <math>\pm 600</math> V, IC1 sous <math>\pm 15</math> V</li> </ul> </li> <li>• Réjection du mode commun :             <ul style="list-style-type: none"> <li>min. 90 dB</li> </ul> </li> <li>• Tensions de mesure :             <ul style="list-style-type: none"> <li>- jusqu'à <math>\pm 4,7</math> V, IC1 sous <math>\pm 5</math> V</li> <li>- jusqu'à <math>\pm 14,7</math> V, IC1 sous <math>\pm 15</math> V</li> </ul> </li> <li>• Impédance d'entrée :             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 2 M<math>\Omega</math> pour tension via shunt</li> <li>- 500 k<math>\Omega</math> pour tension en mode</li> </ul> </li> </ul> | <p>commun</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bande passante : 0 à 130 kHz (<math>-3</math> dB)</li> <li>• Facteur d'amplification (gain) : <math>\times 1</math></li> <li>• Amplification :             <ul style="list-style-type: none"> <li>- erreur max. 0,001%</li> <li>- max. 5 ppm de non-linéarité</li> <li>- max. 5 ppm de dérive</li> </ul> </li> <li>• Tension de décalage (offset) :             <ul style="list-style-type: none"> <li>max. 1 mV</li> </ul> </li> <li>• Bruit             <ul style="list-style-type: none"> <li>- max. 35 <math>\mu</math>VCC pour 0,01 à 10 Hz</li> <li>- typ. 1,6 <math>\mu</math>V/<math>\sqrt{\text{Hz}}</math> pour <math>\geq 100</math> Hz</li> </ul> </li> </ul> |
|--|--|



dant les schémas classiques se caracté-  
 risent par une plage de tension de mode  
 commun limitée. Mais comme on a, lors  
 de mesures sur des circuits électroniques,  
 affaire à des tensions d'alimentation plus  
 élevées que le classique  $\pm 15$  V des amplis  
 op, il va falloir imaginer autre chose.

Analog Devices, fabricant réputé de circuits intégrés analogiques, propose à cet effet une solution parfaite sous la forme d'un ampli op spécial, l'AD8479. Ce type spécial intègre des résistances à la valeur ajustée au laser. La **figure 1** en montre la structure interne. En voici le principe de fonctionnement : une paire de résistances de  $1\text{ M}\Omega$  prises respectivement aux entrées négative et positive du circuit attaquent respectivement, en interne, les

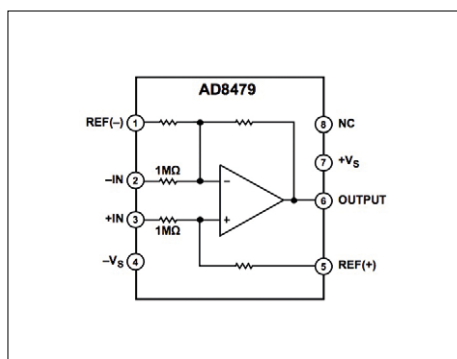


Figure 1. Synoptique de l'AD8479 à résistances intégrées.

entrées inverseuse et non inverseuse de l'ampli op. À la différence des amplificateurs d'instrumentation ordinaires, la résistance de l'entrée non-inverseuse est, par rapport à la masse (broche 5), très faible, de sorte qu'elle divise par 60 la tension d'entrée et ainsi aussi le signal de mode commun. La résistance entre l'entrée inverseuse et la masse (broche 1) est également faible et ajustée de façon à induire une très bonne réjection du signal de mode commun – à en croire la fiche de caractéristiques [1] de pas moins de 90 dB. Résultat : la tension différentielle subit un gain de 1 très exactement et la plage de mode commun voit, théoriquement, sa valeur multipliée par 60. De ce fait, l'étendue de la plage de mode

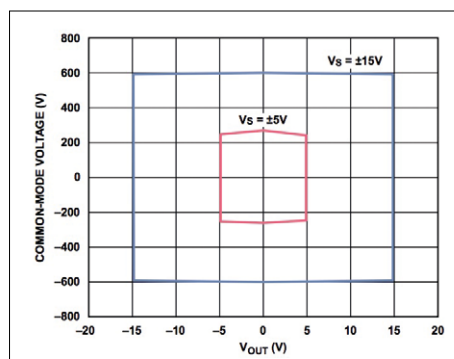


Figure 2. Plage de mode commun en cas d'alimentation sous  $\pm 5$  V (rouge) et  $\pm 15$  V (bleu).

commun devient plus large, comme le montre le graphique de la **figure 2** : une alimentation de  $\pm 5$  V permet une plage de mode commun de plus de  $\pm 200$  V (zone rouge). Cela devrait, dans la pratique, être plus que suffisant vu que les sondes et les oscilloscopes sont normalement conçus pour de telles tensions. Dans le cas d'une alimentation de  $\pm 15$  V, la plage de mode commun admissible s'étend jusqu'à  $\pm 600$  V (zone bleue) et se trouve limitée à cette valeur non pas par le diviseur de tension dans le circuit intégré, mais par l'écartement entre les broches et le boîtier du circuit intégré.

### Schéma de la sonde

L'intégration, en principe, de quasiment tout dans l'AD8479, simplifie énormément le schéma de la **figure 3**. La cour autour d'IC1 se limite aux condensateurs nécessaires au découplage (C1 à C4) et à une résistance-série de 50  $\Omega$  prise à la sortie, R1, pour la connexion à un câble coaxial de 50  $\Omega$  – c'est tout.

Il faudra, pour faire en sorte que les excellentes caractéristiques de l'amplio puissent se confirmer, implanter les régulateurs de tension dans la sonde, c.-à-d. au plus près de l'AD8479 pour obtenir une tension d'alimentation propre et sans parasites. Les deux régulateurs de tension permettent alors d'alimenter le

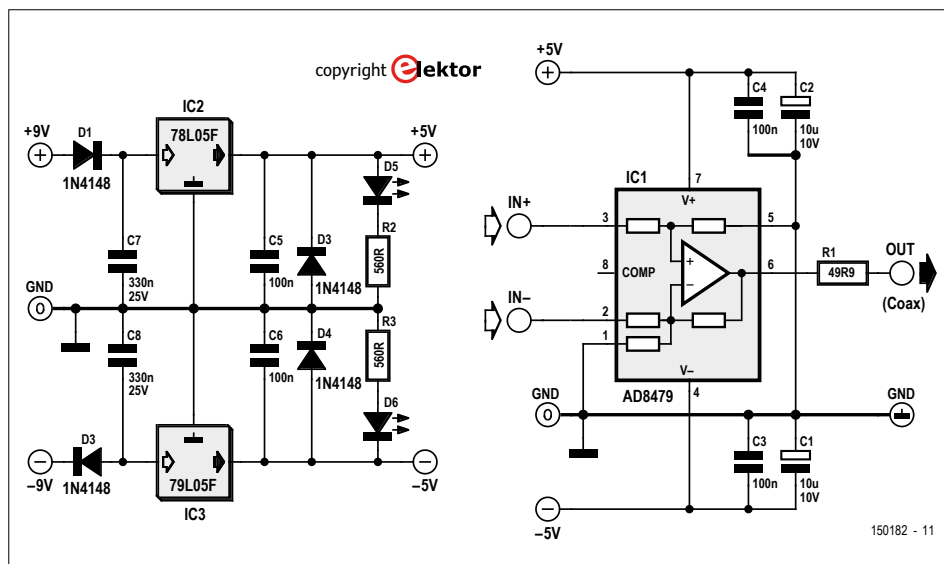


Figure 3. Le circuit de la sonde de courant, régulation de tension comprise.

circuit à l'aide d'une tension non régulée de  $\pm 9$  à 25 V. La consommation d'IC1 est minimale ; de ce fait, on peut utiliser des versions CMS pour IC2 et IC3. D1/D2 font office de protection contre une inversion de polarité et D3/D4 empêchent ce que l'on appelle un verrouillage (*latch-up*) des

régulateurs de tension, lorsque les deux tensions chutent de façon inégale, avec un risque alors d'inversion de la polarité d'une sortie.

On pourra, si la plage de mode commun de  $\pm 200$  V par rapport à la terre devait s'avérer insuffisante, alimenter IC1 à

des tensions plus élevées. Dès  $\pm 9$  V, on atteint une plage de mode commun de  $\pm 400$  V et avec  $\pm 15$  V, on arrive à la plage maximale de  $\pm 600$  V. Il faut alors impérativement veiller à ce que la tension d'alimentation non régulée soit de 4 V au-dessus et au-dessous respectivement de la tension de sortie du régulateur de tension. En outre, C1 et C2 devront alors devenir des types ayant une tension nominale de 25 V. Pour des tensions non régulées supérieures à 25 V, il faudra faire passer à 35 V la valeur de rigidité diélectrique (teneur en tension) de C7 et C8.

### Réalisation

Lorsqu'on utilise des CMS, la réalisation sur un morceau de platine à trous est délicate, même si la simplicité du circuit engageait à le faire. C'est pourquoi l'auteur a conçu une platine (cf. **figure 4**) ; des fichiers pour produire le circuit imprimé sont disponibles sur la page Elektor de cet article [2]. Et si déjà nous utilisons un ampli op de type CMS, autant faire de même pour le reste des composants, ce qui est 100% bénéfice pour la miniaturisation de la platine et donc son confort d'utilisation en tant que sonde de shunt. Bien que le circuit soit simple et qu'il n'y ait que peu de composants à implanter, il faudra, lors de la soudure, prendre le temps et pourquoi ne pas utiliser une loupe ; certains des condensateurs et les résistances sont minuscules (type 0603).

Sur la platine, on voit deux cercles (*fixing holes*) en haut à droite. Ils désignent des trous à percer pour fixer, à l'aide d'un serre-câble, la sortie du câble coaxial. S'il est vrai que la sonde de courant n'a, de par l'AD8479 qu'une bande passante limitée de 130 kHz, il n'en reste pas moins qu'un câble coaxial sera utile pour une bonne qualité de signal et la durabilité. En raison de la bande passante limitée, l'entrée de l'oscilloscope ne devra pas être terminée sous 50  $\Omega$ , mais peut rester à la haute impédance classique de 1 M $\Omega$ , de sorte que le signal n'est pas alors divisé par deux.

Voici comment procéder pour le soudage du câble coaxial directement sur la platine : du côté de l'extrémité libre, on commence par dénuder 11 mm de l'isolant extérieur avant de raccourcir à 6 mm le blindage tressé devenu visible et de l'étamer. L'isolation intérieure est enlevée, ce qu'il faut pour que le conducteur

### Liste des composants

#### Résistances :

Toutes CMS 0603

R1 = 50  $\Omega$

R2, R3 = 560  $\Omega$

#### Condensateurs :

Tous céramique

C1, C2 = 10  $\mu$  / 10 V\*, CMS 1206

C3-C6 = 100 n / 50 V, CMS 0603

C7, C8 = 330 n / 25 V\*, CMS 1206

#### Semi-conducteurs :

D1-D4 = 1N4148, DO214AA

D5 = LED, rouge, CMS 0805

D6 = LED, bleue, CMS 0805

IC1 = AD8479, SOIC-8

IC2 = 78L05F\*, SOT89

IC3 = 79L05F\*, SOT89

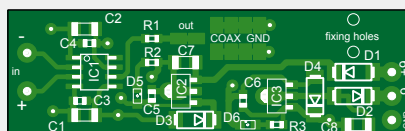


Figure 4. Circuit imprimé et implantation. La paire de trous à droite sert à fixer le câble de raccordement par serre-câble.

#### Divers :

Câble coaxial\*

Câble de microphone\*,

à deux conducteurs + blindage

Pointes de sonde\*

Circuit imprimé

\* cf. texte

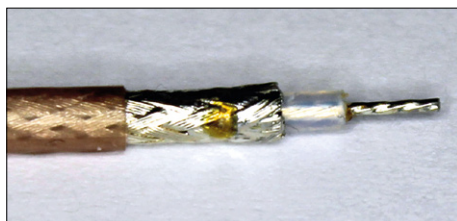


Figure 5. Voici un câble coaxial correctement dépouillé de son isolation et étamé.

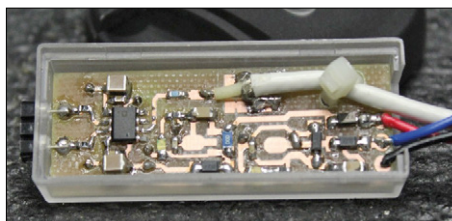


Figure 6. Un premier prototype de la sonde de courant, dotée d'un petit boîtier en plastique. Ici, seul le câble coaxial est fixé à l'aide d'un serre-câble.

intérieur dénudé dépasse de 3 mm ; on voit en **figure 5** ce dont il retourne. On place ensuite l'extrémité du câble préparé au bon endroit de la platine et on soude d'abord le conducteur interne. Ensuite, le blindage richement étamé est soudé aux deux plots de masse allongés.

Pour l'alimentation, on pourra utiliser un câble de microphone flexible à deux conducteurs + blindage. Il est soudé aux trois plots en bas à droite. À l'entrée, on connecte des pointes de sonde standard qui, pour de courtes longueurs, ne doivent pas nécessairement être blindées, vu que les impédances des sources sont en général assez faibles. On peut aussi rendre les sondes enfichables à l'aide, par ex., d'un bout d'embase au pas de 5,08 mm. Une fois la carte montée dans un petit boîtier en matière plastique approprié et les câbles passés dans les trous, il reste à doter l'extrémité libre du câble coaxial d'un connecteur BNC. La connexion enfichable de l'alimentation dépend de la source de tension prévue. Celle-ci n'aura pas à fournir une forte puissance, quelques mA suffisent amplement.

### Et le reste

On voit en **figure 6** l'un des premiers prototypes de la sonde de courant. Une fois la sonde « mise en boîtier », elle est immédiatement utilisable. Il n'y a rien à régler, ni quoi que ce soit à configurer. Attention : si l'alimentation d'IC1 est de  $\pm 5$  V, et le gain unitaire, on ne peut mesurer que des tensions sur shunts de  $\pm 4,7$  V, vu que la plage de tension de sortie a exactement cette taille. Si l'on a besoin, pour les cas particuliers, d'une plage de tension plus grande (ce

qui n'arrive pratiquement jamais lors de mesures de courant), il faudra, comme décrit plus haut, augmenter la tension d'alimentation d'IC1 sans perdre de vue la tenue en tension de C1 et C2.

La sonde est, tous comptes faits, un accessoire pour tout oscilloscope ; elle le dote d'une option de mesure de courant sans risque de problèmes, et peut se targuer d'un rapport utilité/prix hors pair. ◀

(150182 - version française : Guy Raedersdorf)

### À propos de l'auteur

Cela fait 32 ans qu'Alfred Rosenkränzer opère en tant qu'ingénieur de développement, au départ dans le monde de la TV professionnelle. Il développe, depuis la fin des années 90, des circuits numériques à grande vitesse et analogiques pour des testeurs de circuits intégrés.

### Liens

- [1] Fiche de caractéristiques AD8479 : [www.analog.com/static/imported-files/data\\_sheets/AD8479.PDF](http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/AD8479.PDF)
- [2] Page de cet article : [www.elektormagazine.fr/150182](http://www.elektormagazine.fr/150182)